

**Escuela Politécnica Superior**

**Universidad Carlos III de Madrid**



**Proyecto Fin de Carrera**

**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE BIOGÁS  
MEDIANTE DIGESTIÓN ANAEROBIA Y  
VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS  
OBTENIDOS**

**Departamento de Ciencia de Materiales e  
Ingeniería Química**

**Autor: Javier Bayona Villanueva**  
**Tutor: Antonio Aznar Jiménez**

# ÍNDICE

---

<b>capítulo 1: introducción</b> .....	5
1.1 emplazamiento y motivación.....	6
1.2 digestión anaerobia .....	8
1.2.1 el proceso de digestión anaerobia .....	8
1.2.2 principales factores que influyen en la producción de metano ....	12
 <b>capítulo 2: descripción de la planta</b> .....	22
2.1 justificación del cumplimiento del rd 661/2007 del 25 de mayo por el cual se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial .....	23
2.2 descripción productiva de la instalación .....	25
2.3 materia orgánica para la producción de biogás.....	30
2.3.1 purines de cerdo.....	30
2.3.2 materia orgánica.....	31
2.3.3 aceites vegetales y/o grasas .....	33
2.4 acceso a la planta y exteriores .....	34
2.5 zona de recepción y pretratamiento de los aceites y/o grasas .....	35
2.6 zona de recepción y pretratamiento de los residuos agrícolas y restos de poda .....	36
2.7 zona de recepción y pretratamiento de purines de cerdo .....	38
2.8 digestores primarios y secundarios .....	39
2.8.1 características operativas del proceso de digestión.....	40
2.8.2 dimensionado de los digestores primarios .....	41
2.8.3 sistema de agitación mecánica de los digestores.....	44
2.8.4 cubierta de los digestores .....	45

2.8.5 justificación del consumo térmico de los digestores .....	46
2.9 planta regasificadora de gnl .....	53
2.10 motores térmicos y consumo de biogas y gas natural .....	55
2.11 instalación eléctrica en baja tensión .....	58
2.11.1 instalación generadora en baja tensión .....	58
2.11.2 generador eléctrico .....	59
2.11.3 suministro de energía .....	60
2.12 sistema de tratamiento del biogas generado .....	61
2.13 separador sólido/líquido .....	63
2.14 deshidratación de lodos .....	64
<b>capítulo 3: valorización de los residuos generados .....</b>	<b>67</b>
3.1 residuos generados.....	68
3.1.1 agua rica en nutrientes.....	68
3.1.2 biofertilizante .....	70
<b>capítulo 4: presupuesto y estudio técnico-económico.....</b>	<b>72</b>
4.1 presupuesto de la instalación .....	73
4.2 estudio técnico-económico.....	76
4.2.1 cuantificación de la inversión.....	76
4.2.2 ingresos y gastos .....	77
4.2.3 coste del kwh producido .....	82
4.2.4 estudio económico .....	82
<b>capítulo 5: líneas de futuro .....</b>	<b>84</b>
<b>capítulo 6: planos .....</b>	<b>89</b>

<b>capítulo 7: anexos .....</b>	<b>96</b>
anexo a: evolución histórica y tipología de digestores.....	97
a.1 evolución histórica .....	98
a.2 tipología de digestores anaerobios .....	101
a.2.2 clasificación de digestores anaerobios de acuerdo a su generación .....	105
anexo b: características técnicas de los motores térmicos .....	114
anexo c: simulación económica de la instalación .....	119
 <b>capítulo 8: elementos consultados.....</b>	 <b>121</b>
8.1 enlaces web.....	122
8.2 bibliografía .....	124





# CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

---

## 1.1 EMPLAZAMIENTO Y MOTIVACIÓN

---

El emplazamiento de la instalación en baja tensión de un equipo de cogeneración de una planta de valorización de residuos agrícolas y purines procedentes de la actividad porcina se llevará a cabo en la Provincia de Castellón. Los motivos a estudio para la correcta ubicación de dicho proyecto son los siguientes:

- Zonas con una alta actividad ganadera en general y porcina en particular.
- Zonas donde el vertido de los desechos procedentes de los excrementos animales conlleve un alto coste para el ganadero y perjudique al medio ambiente debido a la aglutinación de este tipo de actividades.
- Zonas donde la calidad de las aguas subterráneas se vea comprometida por diversos agentes contaminantes externos.
- Zonas donde exista cierta problemática con los olores procedentes de la industria ganadera.

La realización de este proyecto en la zona afectada supondría los siguientes logros y beneficios en su zona de influencia:

- Evita la contaminación del suelo y subsuelo debida a vertidos excesivos procedentes de excretas animales.
- No se producen emisiones de partículas sólidas, nitrogenadas o sulfuradas a la atmósfera en la producción de energía.
- Producimos energía tras el reciclado de la materia orgánica.

- Aprovechamiento de algunos tipos de biomasa de origen vegetal, con lo que se fomenta el empleo en las zonas rurales.
- Reducción de olores tras centralizar todo el vertido de excremento animal en un punto donde estará perfectamente controlado. Tras el proceso de digestión, habrán sido eliminados aproximadamente el 95% de los olores iniciales a la par que numerosos gérmenes y microorganismos patógenos del vertido inicial. También son eliminados los ácidos grasos volátiles (AGV).
- Reducción de costes de producción para los ganaderos, ya que se elimina el sobre coste de gestionar los residuos animales.
- Producción de biofertilizante de gran calidad, estable y mineralizado, cuyo contenido en AGV ha sido eliminado, evitando así la fitotoxicidad por este concepto.
- Producción de  $\text{CH}_4$  que posteriormente será transformado en electricidad la cual será exportada a la red eléctrica. Con esto obtenemos un balance energético positivo y un proceso productivo neto de energía renovable.
- El proceso contribuye a la disminución de gases de efecto invernadero si el metano producido sustituye a una fuente no renovable de energía.
- Producción de energía térmica en exceso que puede ser aprovechada para otros procesos o calefacción de instalaciones o edificios adyacentes.

## 1.2 DIGESTIÓN ANAEROBIA

---

### 1.2.1 EL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA

---

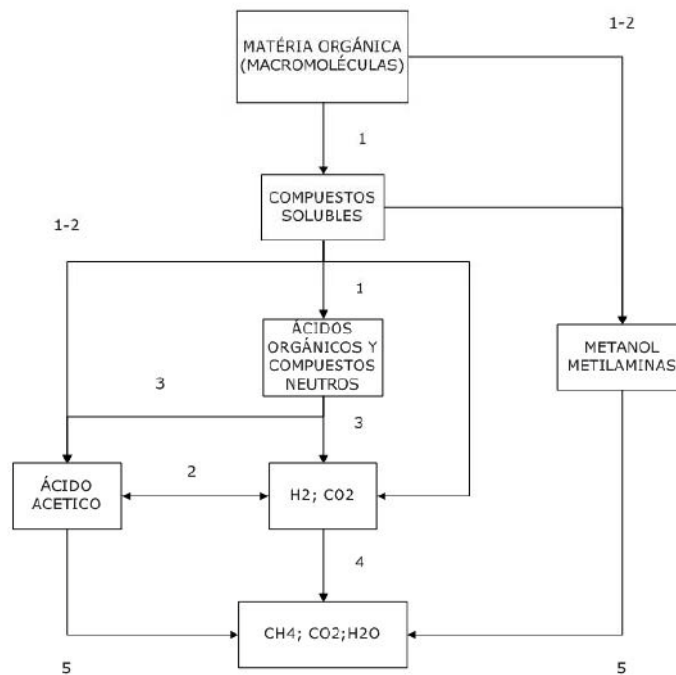
La digestión anaerobia es un proceso microbiológico que en condiciones de ausencia de oxígeno permite transformar la materia orgánica en metano. Esta conversión se produce en diversos ambientes, ya sean naturales, como los sistemas gastrointestinales de los seres vivos o en sedimentos marinos, o bien en sistemas controlados creados por el hombre, como los digestores anaerobios.

Cuando se acumula materia orgánica en un ambiente acuoso, los microorganismos aerobios actúan primero, tratando de alimentarse de este sustrato. Este proceso consume el oxígeno disuelto que pueda existir. Luego de esta etapa inicial, cuando el oxígeno se agota, aparecen las condiciones necesarias para que la flora anaerobia se pueda desarrollar consumiendo también, la materia orgánica disponible. Como consecuencia del metabolismo de las bacterias, principalmente, se genera una importante cantidad de metano y dióxido de carbono.

Este proceso se caracteriza por un conjunto de reacciones asociadas al metabolismo de numerosos microorganismos, que son los intermediarios necesarios para transformar la materia orgánica compleja en substratos simples fermentables por las bacterias metano génicas.

Veamos un gráfico para intentar organizar las diferentes bacterias que intervienen en el proceso de digestión anaerobio.

## ETAPAS DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA



Las bacterias que intervienen en cada etapa son:

- 1 Bacterias hidrolíticas-acidogénicas
- 2 Bacterias homoacetogénicas
- 3 Bacterias acetogénicas
- 4 Bacterias metanogénicas hidrogenófilas
- 5 Bacterias metanogénicas acetoclásticas

Las etapas que se producen durante la digestión anaerobia son las siguientes:

- Hidrólisis:

En esta primera etapa, las moléculas complejas son reducidas a compuestos más simples de menor tamaño de cadena gracias a la acción de bacterias hidrolíticas anaeróbicas. Estas bacterias hidrolizan las moléculas solubles en agua tales como grasas, proteínas y carbohidratos y las transforman en polímeros más simples. Los compuestos orgánicos son solubilizados por enzimas excretadas por las bacterias hidrolíticas.



- Acidogénesis:

En esta fase se convierten los productos intermedios en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono. Estas dos primeras fases las llevan a cabo las bacterias hidrolíticas-acidogénicas y las acetogénicas que hidrolizan y fermentan las cadenas más complejas de la materia orgánica en ácidos orgánicos simples (principalmente ácido acético). Se trata de bacterias anaerobias facultativas, que son las que pueden consumir oxígeno molecular para su metabolismo ya que se adaptan a su presencia, y estrictas, que son las que no toleran la presencia de oxígeno molecular. Una vez consumido el oxígeno molecular, se crea un ambiente anaerobio idóneo para el desarrollo de las bacterias estrictas, favoreciendo un rápido crecimiento bacteriano. En esta etapa, todavía no se da un consumo de materia orgánica (reducción DQO) apreciable, ya que tan solo se transforman las cadenas orgánicas de mayor tamaño en cadenas más cortas.

- Homoacetogénesis-acetogénesis:

Las bacterias que intervienen en esta fase de homoacetogénesis se caracterizan por la producción de acetato a partir de la fermentación de azúcares y de compuestos mono carbonados. Estas bacterias se encuentran en una concentración muy inferior a las metanogénicas (unas 100 veces menor) y no les supone un metabolismo competitivo.

En la fase de acetogénesis se metabolizan los productos terminales de la etapa acidogénica (alcoholes, ácidos grasos, algunos compuestos aromáticos) produciendo ácido acético y liberando como productos hidrógeno y dióxido de carbono que serán los sustratos de las bacterias metanogénicas.

- Metanogénesis:

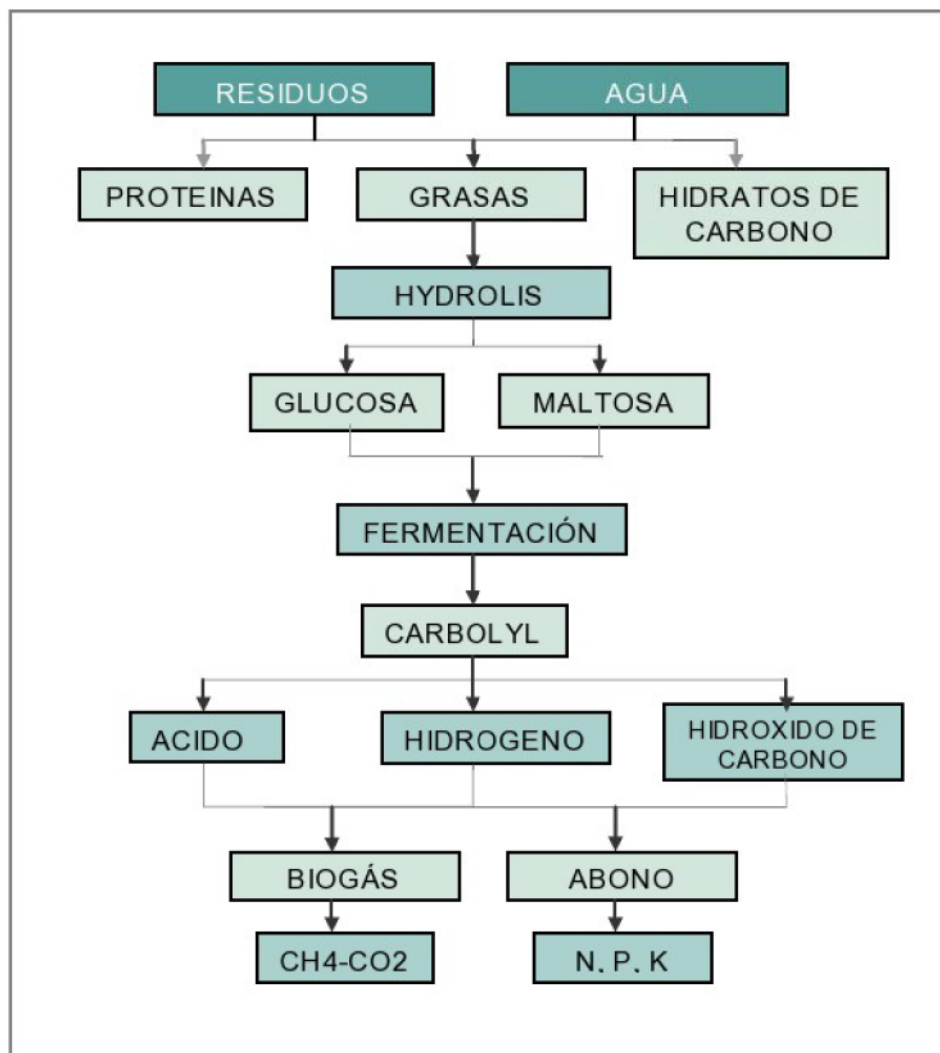
En esta fase, un segundo grupo de bacterias convierte los ácidos orgánicos en metano y dióxido de carbono. Se trata de bacterias metanogénicas estrictamente anaeróbicas. Las más importantes son las



metanogénicas acetoclásticas que transforman los ácidos propanoico y acético en metano. El otro tipo de bacterias en esta etapa, las metanogénicas hidrogenófilas, consumen el hidrógeno generado en la primera parte de la reacción transformándolo en metano.

Estas bacterias son las que limitan el proceso de degradación anaerobia y condicionan el tiempo de retención de la biomasa en el digestor así como la temperatura del proceso.

De forma simplificada, podemos resumir este ciclo en el siguiente diagrama:



---

## 1.2.2 PRINCIPALES FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PRODUCCIÓN DE METANO

---

Veamos ahora los principales factores que hemos de controlar para asegurar una correcta producción de biogás en nuestra planta.

### 1.2.2.1 AUSENCIA DE OXÍGENO

---

Las bacterias metano génicas solo pueden existir en ambientes anóxicos, es decir, en ausencia de oxígeno. Pero existe una razón por la cual estas bacterias no mueren o se inhiben inmediatamente en presencia de oxígeno ya que conviven con otras bacterias que se formaron en otros procesos bioquímicos o bien existen también microorganismos facultativos que toleran ciertas concentraciones de oxígeno. Toda esta flora bacteriana se alimenta del oxígeno del medio, es por ello que dentro del reactor podemos tolerar una concentración de oxígeno del 3-5%.

### 1.2.2.2 TIPO Y CALIDAD DE LA BIOMASA

---

El proceso productivo de esta planta de biogás consiste en introducir biomasa disponible en los digestores en las proporciones y cantidades adecuadas. En nuestro caso, realizaremos la co-digestión mediante el uso de los siguientes subproductos presentes en la zona donde llevaremos a cabo la instalación:

- Subproductos agrícolas y/o ganaderos catalogados así en el código C.E.R (Catálogo Europeo de Residuos) (hasta un 30%). Ver anexo correspondiente para más información sobre subproductos.
- Purines de cerdo ricos en materia orgánica (hasta un 75% del total).
- Aceites y grasas vegetales (hasta un 3%) (nunca se superará el 5% de esta partida).

La elección de los subproductos para la co-digestión dentro del digestor se basa en la experimentación con distintos tipos de materia orgánica llevada a cabo en diferentes estudios para la optimización del proceso. En este caso me he basado en las recomendaciones de la ingeniería alemana y la española Ecobiogás.

No obstante, la construcción de una pequeña planta piloto para evaluar la producción de metano de acuerdo a la distinta materia orgánica disponible para su correcta evaluación sería muy aconsejable en este tipo de instalaciones.

### 1.2.2.3 ALMACENAMIENTO Y PREPARACIÓN DE LA BIOMASA

---

El almacenaje previo y la homogenización de la distinta materia orgánica utilizada son de capital importancia para el correcto funcionamiento del digestor, ya que se ha de asegurarse un suministro constante y homogéneo para optimizar el proceso de metanogénesis. Así mismo, ha de eliminarse los sólidos inertes que se pudieran presentar junto con la materia orgánica y reducir el tamaño de las partículas para favorecer la digestión.

### 1.2.2.4 HIGIENIZACIÓN

---

Si se diera el caso del uso de materia orgánica que pudiera presentar bacterias, parásitos y virus, a través de la higienización reducimos el riesgo de contaminación y transmisión de enfermedades. Durante este proceso, someteremos a la materia orgánica sospechosa a un precalentamiento a unos 70Cº durante una hora.

### 1.2.2.5 MASA SECA, MASA VOLÁTIL Y COV

---

Estos parámetros son muy importantes a la hora del dimensionado de los digestores ya que nos permiten tipificar la materia orgánica de la que disponemos. Para su correcta estimación se recomienda realizar un análisis in situ de la materia orgánica disponible, no obstante, podemos hacer una estimación basándonos en tablas según el tipo de materia orgánica.



- Masa seca: Se define como la cantidad de sólidos que contiene la biomasa. Se calcula como la materia seca total que es cargada diariamente en el digestor. El porcentaje óptimo se sitúa en valores entre el 8% y el 15%, ya que por encima de estos valores resulta complicado el transporte de la materia a digerir y su agitado, de igual forma, con porcentajes menores, el rendimiento de la instalación no sería el adecuado debido a que necesitaríamos digestores mayores para una misma producción de metano.
- Masa volátil: Expresa el contenido real de masa orgánica en la biomasa disponible. El resto es humedad, trazas inorgánicas y otras materias que no producen biogás.
- Se entiende como COV a la cantidad de materia orgánica seca con la que se alimenta diariamente el digestor por  $\text{m}^3$  de volumen de digestor ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ). El valor depende de la temperatura del proceso de digestión y del tiempo de retención hidráulico (TRH o tiempo que pasa la materia orgánica en el interior del digestor). Es útil para controlar la carga del digestor y para su correcto dimensionado ya que si el sustrato en el digestor está muy diluido las bacterias no tendrán suficiente alimento para llevar a cabo sus funciones, mientras que un exceso dificulta su movilidad.

Por tanto, se debe encontrar un correcto compromiso entre los parámetros de temperatura de proceso y TRH para optimizar el proceso de producción de biogás. De forma general, los valores de COV deben estar comprendidos entre 2-4  $\text{Kg}/\text{m}^3$ .

#### 1.2.2.6 TEMPERATURA DEL PROCESO

---

La digestión anaerobia se puede dar en tres rangos de temperatura:

- Psicrofílico, con una temperatura  $T < 25^{\circ}\text{C}$
- Mesofílico, con una temperatura  $25^{\circ}\text{C} < T < 45^{\circ}\text{C}$
- Termofílico, con una temperatura  $45^{\circ}\text{C} < T < 60^{\circ}\text{C}$

La velocidad de degradación de la materia orgánica aumenta con la temperatura aunque también aumentan los requerimientos energéticos por lo que es de vital importancia encontrar una temperatura de proceso óptima de acuerdo a la materia orgánica disponible. Este parámetro lo estimaremos correctamente en la planta piloto citada anteriormente.

#### 1.2.2.7 ACIDEZ

---

La acidez es un parámetro de control de vital importancia debido a que las bacterias encargadas de llevar a cabo la metanogénesis presentan una gran sensibilidad a las variaciones del pH. Para conseguir un buen rendimiento de degradación y una elevada concentración de metano, debe estar comprendido entre los valores de 6,5 y 7,5.

#### 1.2.2.8 NUTRIENTES

---

Los niveles de nutrientes deben de estar por encima de la concentración óptima para las bacterias que producen metano, ya que se inhiben severamente por falta de nutrientes.

Algunos de los nutrientes más importantes son el carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y algunas sales minerales. Las pequeñas concentraciones de sodio, potasio, calcio, molibdeno y calcio favorecen la descomposición del sustrato y formación de metano.

#### 1.2.2.9 FACTORES QUE INHIBEN LA PRODUCCIÓN DE METANO

---

Entendemos como factores o elementos que inhiben la producción de metano a aquellos que, en concentraciones muy pequeñas, pueden afectar enormemente al desarrollo de las bacterias encargadas de llevar a cabo la metanogénesis.

Analicemos los compuestos que, de forma más usual, podemos encontrarnos en la materia orgánica que vamos a tratar.

- Amoníaco y amonio: El amoníaco,  $\text{NH}_3$ , es un elemento que actúa como inhibidor a muy bajas concentraciones en el interior del digestor. Este elemento debe estar en equilibrio con el contenido de amonio  $\text{NH}_4$ . El amonio reacciona con el agua y se transforma en amoníaco, lo que significa que empieza a subir la concentración de amoníaco y por tanto la biomasa se vuelve alcalina. De forma general, concentraciones de  $\text{NH}_3$  y  $\text{NH}_4$  mayores a 3000 mg/l resultan inhibitoras del proceso.



- Nitrógeno amoniacal: Los residuos ganaderos contienen elevadas concentraciones de compuestos nitrogenados, en función del sistema de alimentación y composición de los piensos, por lo que resultaría altamente interesante el comprometer a los ganaderos involucrados en el proyecto a respetar unos ciertos parámetros para disminuir en lo posible la presencia de dicho elemento en las excretas animales.

El nitrógeno orgánico durante el proceso anaerobio se hidroliza produciendo formas amoniacales, que pese a ser un gran nutriente para favorecer el crecimiento de los microorganismos, en exceso puede resultar nocivo para los mismos. Estudios realizados (Hansen et al en 1998) estimaron que para una planta cuya principal materia orgánica fuera el purín de cerdo, una concentración de amonio de 6 g N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/l era lo más adecuado a bajas temperaturas de proceso, ya que la producción de metano se redujo drásticamente si se aumentaba la temperatura. Previamente, Van Velsen en el año 1979 estimó que para una correcta digestión del purín de cerdo en temperaturas dentro del rango mesofílico las concentraciones más adecuadas no debían ser superiores a los 3 g N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/l. De nuevo nos encontramos con la casi necesidad de establecer una pequeña planta piloto previa para optimizar este parámetro, amén de otros vistos con anterioridad, ya que dicha concentración aumenta y disminuye en función de la materia orgánica a digerir y la temperatura del proceso.

- Ácidos grasos volátiles (AGV): Este valor es de vital importancia como indicador de desequilibrios en el sistema. Una vez conocido el valor de AGV del efluente a digerir, tomando para ello una muestra de la concentración de ácido acético, un aumento en su concentración está relacionado con una disminución en el metano generado. Hill (1987) determinó que si la concentración de ácido acético es superior a 800 mg/l, la digestión de purines de cerdo está ya en condiciones de fallo inminente. Este mismo autor indica

la utilidad de otros AGV denominados “de cadena larga”, como los ácidos butírico y valérico (en sus formas isómeras), como indicadores más cercanos al fallo, siendo el límite para el colapso de la producción de metano concentraciones de 5 y 15 mg/l respectivamente.

- Compuestos azufrados: En presencia de sulfatos, las bacterias metanogénicas compiten con las bacterias sulfato reductoras por los sustratos útiles, mostrando éstas últimas ventajas termodinámicas y cinéticas sobre las primeras. A modo de ejemplo, es interesante saber que la reducción de 1,5 g de  $\text{SO}_4$  equivale a la utilización de 1 g de DQO, por lo que se reducirá su disponibilidad para la producción de metano.

Además de este hecho, el ácido sulfhídrico es tóxico a altas concentraciones para numerosas bacterias, viéndose favorecida esta toxicidad a pH bajos y a bajas temperaturas. La presencia de sulfhídrico no solo es nociva para las bacterias, sino que produce problemas de corrosión y de malos olores.

En régimen termofílico, se favorece el paso de los compuestos azufrados a forma gaseosa, lo que disminuye los problemas que puedan causar estos elementos. No obstante, si el material a digerir tiene una elevada concentración en nitrógeno amoniacal, como es el caso del purín de cerdo, se sitúa la concentración máxima de azufre en 23 mg/l para un rango termofílico de trabajo.

- Cationes y metales pesados: Los sistemas anaerobios son especialmente sensibles a la presencia de metales pesados. Se han realizado ensayos donde a determinadas concentraciones de dichos metales solubles pueden llegar a detener por completo la actividad metanogénica del sistema. La toxicidad de los metales pesados depende de la forma química en que éstos se introducen en el digestor y del pH existente. Para combatir su toxicidad, éstos

pueden precipitarse como sales de sulfato o sales de carbonato, excepto el hierro y el cromo. No obstante, algunos de ellos son beneficiosos y necesarios para favorecer el desarrollo de la flora bacteriana dentro del digestor.

A modo de resumen, veamos la siguiente tabla donde encontramos las concentraciones inhibitoras y tóxicas de distintos metales.

Concentración inhibitora de metales pesados

	Cantidad inhibitora (mg/l)	Concentración permitida (mg/l)
Cobre	40-250	8
Cadmio	150-600	0,12
Zinc	150-600	32
Níquel	10-300	4
Plomo	300-340	12
Cromo	100-300	8
Mercurio	-	0,08

- Desinfectantes y antibióticos: Los antibióticos empleados en las explotaciones ganaderas llegan a los excrementos, pero no suelen afectar de manera importante al proceso de digestión de forma general, si bien, habrá que prestar especial atención a algunos de ellos como la penicilina y tetraciclina, administrados en la dieta de los animales, que si tienen un efector negativo en la producción de metano.

Con respecto a los desinfectantes procedentes de la limpieza y desinfección de las granjas, su toxicidad dependerá de su concentración, biodegradabilidad y tiempo que transcurra hasta la entrada en el sistema anaerobio. Serán especialmente tóxicos

aquellos desinfectantes que sean clorados o compuestos de amonio cuaternario. Los desinfectantes considerados como sintéticos, no afectarán al proceso siempre que su concentración sea menor a los 20 mg/l debido a su rápida degradación.

Todos estos aspectos, deberán ser explicados al ganadero porcino, y en caso de que éste los utilice, habrá que buscar alternativas satisfactorias para todas las partes.

## **CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA**

---



## 2.1 JUSTIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DEL RD 661/2007 DEL 25 DE MAYO POR EL CUAL SE REGULA LA ACTIVIDAD DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN RÉGIMEN ESPECIAL

---

La instalación se considera clasificada dentro del grupo b.7.2 tal y como se indica en las características técnicas del presente proyecto.

Dentro del grupo b.7.2 se incluyen las instalaciones que utilizan como combustible principal el biogás generado en digestores empleando alguno de los siguientes residuos: residuos biodegradables industriales, lodos de depuradora de aguas urbanas o industriales, residuos sólidos urbanos, residuos ganaderos, agrícolas y otros para los cuales se aplique el proceso de digestión anaerobia, tanto individualmente como en co-digestión.

Esta instalación utilizará como combustible secundario el gas natural en una proporción máxima del 10% respecto a la energía primaria total, medida en poder calorífico inferior, tal y como se indica en el RD 661/2007 artículo 2. Este combustible secundario será utilizado en la proporción indicada y será contabilizado mediante un contador de gas natural y otro de biogás, ambos homologados que permitirán conocer en todo momento el combustible consumido. El objetivo principal de la cogeneración es consumir biogás (procedente de la degradación de la materia orgánica) y no gas natural (procedente de forma general como gases asociados a la extracción de petróleo) ya que la producción de biogás resulta más económica y estable que la del gas natural porque este último ha de comprarse a los operadores de mercado o comercializadores (CEPSA, GAS NATURAL, GAS FECSA-ENDESA, etc....) y su precio es muy variable debido a que es función del precio del barril Brent y de la relación de cambio dólar-euro.

Para calentar los digestores se utiliza energía térmica pero como se considera parte del proceso de digestión y se trata de una instalación productora de energía renovable categoría b.7.2, no se contabilizará en los rendimientos energéticos, por lo que no deberá cumplir ninguna normativa de rendimientos energéticos.



## 2.2 DESCRIPCIÓN PRODUCTIVA DE LA INSTALACIÓN

---

La estimación del número de horas/año de trabajo para una instalación de biogás se estima en 8000h/año, teniendo en cuenta las paradas por mantenimiento y las posibles fluctuaciones en la producción de biogás. En este caso concreto, al incorporar la planta un segundo combustible como lo es el gas natural, se incrementará el rendimiento en el tiempo y se aumentará las horas de trabajo hasta las 8200h/año.

La potencia térmica instalada de los motores de cogeneración será de 2.510kW térmicos y se prevé una producción térmica anual de 20.582MW, la cual se destinará parcialmente a mantener la temperatura de digestión anaerobia y a la regasificación del gas natural empleado, siendo la energía térmica sobrante disipada mediante el uso de aerotermos.

La potencia eléctrica instalada de los motores de cogeneración será de 2.400Kw eléctricos y se prevé una producción de energía eléctrica anual de 19.680MWh. Dicha energía eléctrica producida se destinará principalmente a ser inyectada, a través del punto de conexión, a la red eléctrica de distribución, una vez descontado el autoconsumo estimado en unos 200kWh, por lo que la exportación de energía anual será de 18.040MWh.

Se dispondrá de dos contenedores con un equipo de cogeneración cada uno que utilizarán biogás (90%) y gas natural (10%) como únicos combustibles. Cada contenedor y equipo de cogeneración estarán formados por:

- Equipo refrigerador de gas con condensador de humedad
- Dos rampas de gas (una para el biogás y otra para el gas natural) cuya misión será el correcto abastecimiento de gas a las máquinas de cogeneración. Estarán formadas por los siguientes elementos: Filtros de gas, dos válvulas de corte, indicador de fugas, reguladores de presión, válvula reguladora de paso por control lambda, protección anti deflagración, soplador y conexión de gas en acero.

En ambos contenedores se instalará un motor de ciclo Otto para biogás de cuatro tiempos, de 1.200kW eléctricos de potencia nominal y 1.255kW térmicos.

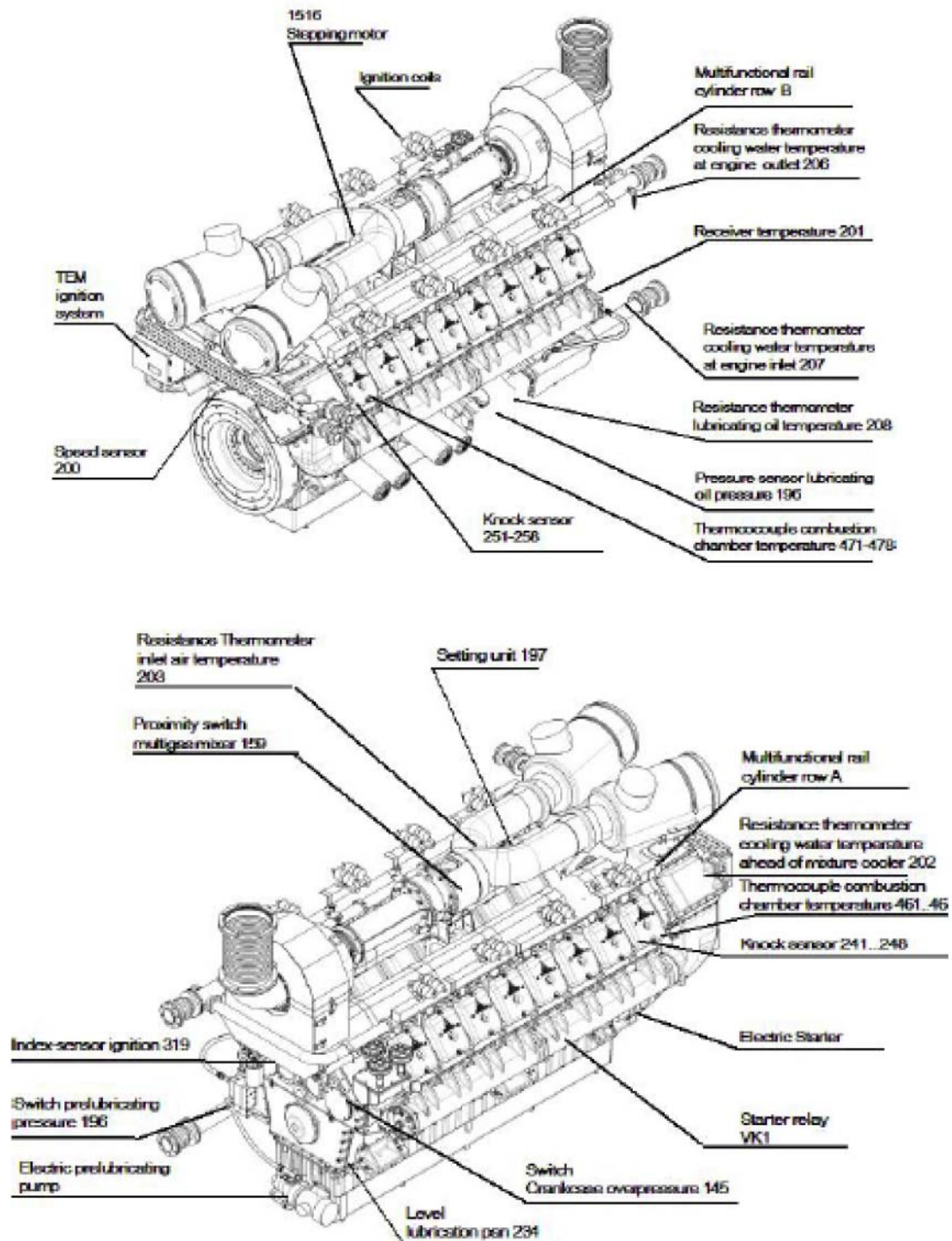
Acoplado a cada uno de los motores, se instalará un generador síncrono autorregulado de corriente trifásica de 400V/50Hz con una eficiencia del 97%.

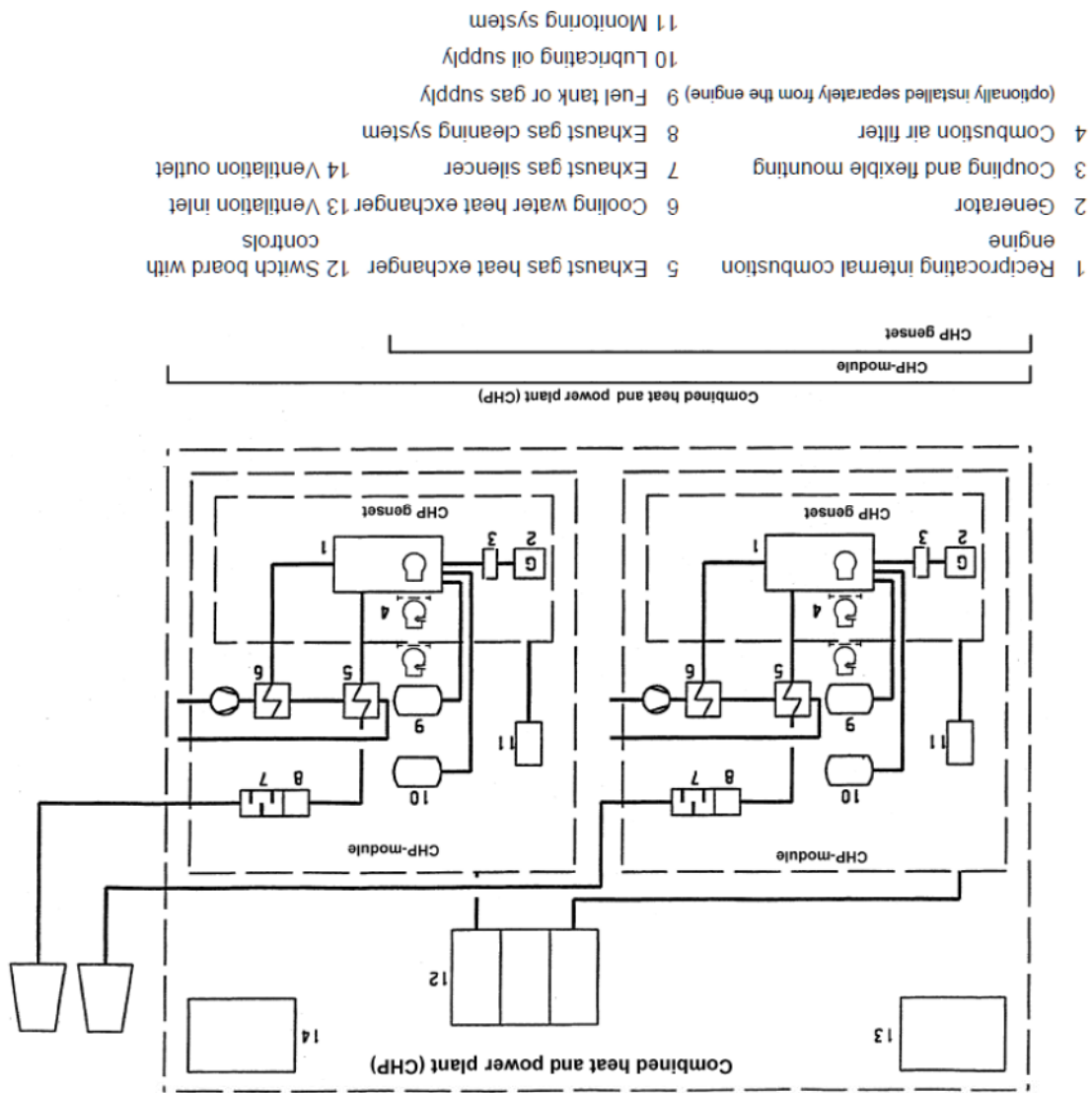
Estos contenedores (motor + generador) serán proporcionados por la empresa alemana MWM, puesto que son los que más se ajustan a las necesidades energéticas y productivas de la instalación.

La recuperación del calor aportado por el agua de refrigeración de motor y del calor de los gases de escape se efectuará mediante un circuito interno de agua utilizando intercambiadores de calor. Éste sistema funcionará con una temperatura de entrada aproximada de 70°C y una temperatura aproximada de salida de 90°C, disponiendo de un subsistema de regulación de temperatura del agua de retorno conectado a los aerotermos para eliminar el excedente de calor.

Veamos los siguientes esquemas de los motores proporcionados por la propia empresa alemana MWM (motor TCG 2020 + generador Marelli MJB 450).

En primer esquema podemos ver una vista del motor desde delante y otra desde detrás.

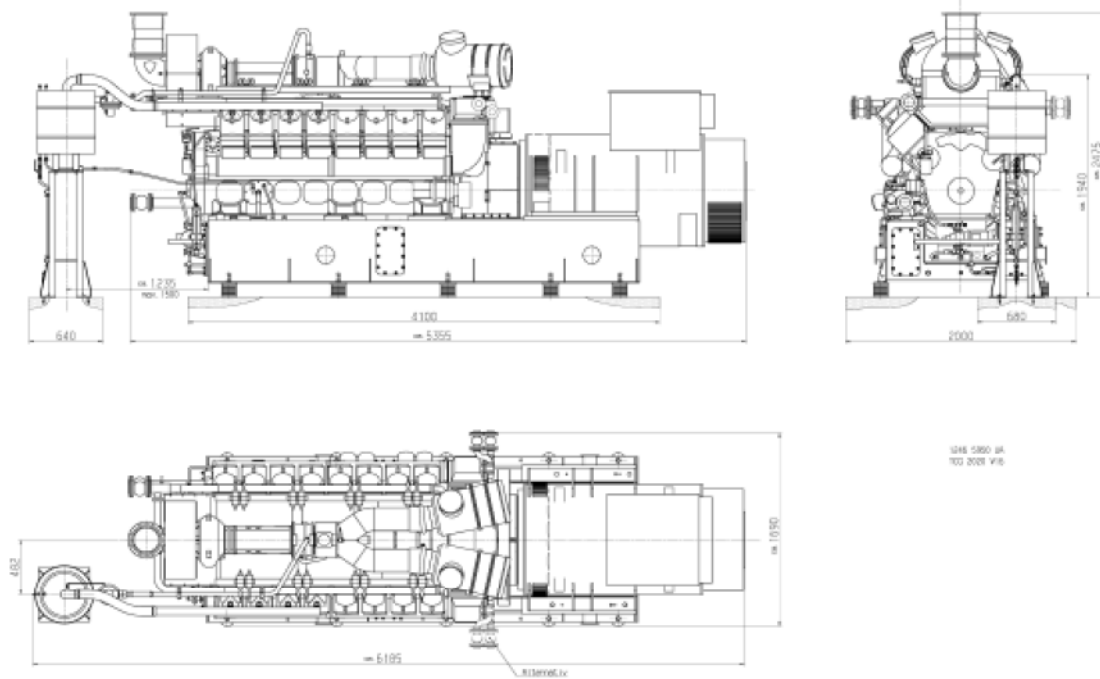




En el segundo esquema podemos ver la interconexión entre los distintos sistemas de producción de electricidad y calor.



En el tercer y último esquema se muestra un alzado, planta y perfil del motor acoplado con el generador.



## 2.3 MATERIA ORGANICA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

---

En el emplazamiento de la instalación, existen 16.000 plazas de cerdo, cantidad que supondrá el 75% de la materia orgánica usada. Para realizar la co-digestión necesitaremos un 22% de materia orgánica adecuada según el código CER (ver apartado 1.2.2.2 tipo y calidad de la biomasa) y entorno al 3% de aceites vegetales y grasas. Todos los datos de la materia orgánica descritos a continuación han sido sacados del libro Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás (Aqualimpia Beratende Ingenieure).

---

### 2.3.1 PURINES DE CERDO

---

El número de plazas de cerdo disponibles es de 16.000 en calidad de cebo o cebadero. Según estadísticas, la generación de purines es de 2,5 m<sup>3</sup>/plaza al año, luego tendríamos una producción total de 40.000 m<sup>3</sup>/año de purines de cerdo en total.

Según estimaciones, el purín del cerdo de engorde posee un porcentaje de masa seca (MS) del 15%. El porcentaje de masa volátil (MV) es del 85% con respecto a la MS. Luego, partiendo de las cantidades estimadas con anterioridad, obtenemos una cantidad de MV:

$$MV = 40.000 \times 0,15 \times 0,85 = 5.100 \text{ m}^3/\text{año}$$

Puesto que la densidad del purín de cerdo es de 1,1Kg/l, obtenemos que la MS en dichas unidades será de:

$$MV = 5.100 \text{ m}^3/\text{año} \times \frac{1000\text{l}}{\text{m}^3} \times \frac{1,1\text{Kg}}{1} = 5.610.000 \text{ Kg/año} = 5.610 \text{ T/año}$$

Puesto que de una tonelada de MV purín de cerdo podemos obtener entorno a 535 m<sup>3</sup> de biogás, la producción estimada de biogás a partir de la partida de purines de cerdo sería de:

$$\text{Producción anual de biogás} = \frac{5.610\text{T}}{\text{año}} \times \frac{535\text{m}^3}{\text{T}} = 3.001.350 \text{ m}^3/\text{año}$$

---

### 2.3.2 MATERIA ORGÁNICA

---

De acuerdo al número de plazas porcinas citadas en el apartado anterior, necesitaremos una cantidad de materia orgánica (apartado 1.2.2.2) para llevar a cabo una correcta co-digestión y así optimizar la producción de biogás. Dicha materia orgánica supondrá en torno al 22% del total de materia orgánica usada en la planta.

Atendiendo a la ubicación de la planta y a los requerimientos de ésta, necesitamos una materia orgánica cuya disponibilidad sea certera y aseguremos un servicio constante para favorecer la homogeneidad en la co-digestión lo máximo posible.

Las materias primas que se encuentran fácilmente disponibles en la zona donde se va a llevar a cabo la instalación serán las siguientes:

- Residuos de la agricultura, horticultura, acuicultura, silvicultura, caza y pesca (Código CER 0201).



- Residuos de la preparación y elaboración de frutas, hortalizas, cereales, aceites comestibles, cacao, café, té y tabaco; producción de conservas; producción de levadura y extracto de levadura, preparación y fermentación de melazas (Código CER 0203).

Más concretamente, dentro de ese 22% de materia necesaria para una correcta co-digestión, abundarán los restos de poda de bosques, restos procedentes de la poda de plantaciones de naranjos, procesado de naranjas y de forma más general cualquier residuo cuyo código CER sea el citado anteriormente y se pueda asegurar su abastecimiento.

De forma general, se suele aceptar que dichos residuos, sin contabilizar los jugos en el caso de los desechos del procesado de naranjas, poseen un volumen de  $1,5\text{m}^3$  por tonelada de material. Puesto que necesitamos un volumen para llevar a cabo la co-digestión de  $11.700\text{m}^3$ , esto equivaldrá a un trasiego de 7.800T al año. Dada la heterogeneidad de esta partida de materia orgánica, estableceremos una producción estimada media de  $360\text{m}^3$  por tonelada de materia orgánica digerida según la bibliografía consultada indicada al inicio de este apartado.

Nótese que estos datos son meramente estadísticos y la importancia de desarrollar previamente una pequeña planta piloto para conocer exactamente la producción de biogás de la materia orgánica involucrada en la digestión.

---

### 2.3.3 ACEITES VEGETALES Y/O GRASAS

---

La adición de grasas y/o aceites vegetales en un pequeño porcentaje es importante por tres razones.

- Favorece la co-digestión que estamos desarrollando
- Ofrece altos niveles de producción de biogás
- Ofrece una solución para el reciclaje del mismo, ya que su vertido está regulado.

De acuerdo a las cantidades de las dos partidas anteriores, necesitaremos una cantidad máxima del 3% de aceites vegetales y/o grasas ya que un porcentaje mayor podría comprometer la digestión en lugar de favorecerla.

Dichos aceites presentan una capacidad de producción de biogás mediante digestión anaerobia ampliamente estudiada y tipificada, ya que son utilizados ampliamente, en pequeños porcentajes, en este tipo de instalaciones.

La cantidad requerida en nuestro caso será de  $1.600\text{m}^3$  al año. Como se ha dicho anteriormente, la capacidad de generación de biogás de este tipo de materia orgánica es muy considerable, del orden de  $620\text{m}^3$  de biogás por metro cúbico digerido.

## 2.4 ACCESO A LA PLANTA Y EXTERIORES

---

El acceso principal a la instalación tendrá una anchura de 10m para facilitar en todo momento el transporte de las materias primas. El acceso se realizará por un camino de tierra compactada y hormigonado.

Se instalará en todo el perímetro del recinto una valla de malla metálica de 2mm de grosor permeable a la vista y de 1,8m de altura. Estará situada a una distancia mínima de 3m de cualquier camino considerado de dominio público para evitar que interfiera en su uso habitual.

## 2.5 ZONA DE RECEPCIÓN Y PRETRATAMIENTO DE LOS ACEITES Y/O GRASAS

---

De acuerdo a las necesidades de la instalación descrita en los apartados anteriores, necesitaremos una cantidad de 1.600m<sup>3</sup> anuales de este tipo de materia orgánica, lo que supone un trasiego diario de 4,38m<sup>3</sup>/día o 0,1825m<sup>3</sup>/h.

Los aceites se reciben en esta planta en camiones cisterna, bidones o contenedores, y son descargados, previo paso por un filtro de 0,5mm para eliminar sólidos gruesos, hacia una pre-balsa de mezcla de líquidos (3 Plano Distribución en Planta). Esta pre-balsa de mezcla será cilíndrica, de hormigón armado y con una cubierta de lona plástica para evitar emisiones o malos olores. Se instalará semienterrada.

El volumen de aceites y/o grasas que será capaz de albergar en su interior tendrá que asegurar el correcto suministro de la planta de forma diaria y continua, además de dotar a la instalación de cierta capacidad de acumulación de este tipo de materia orgánica con el fin de prevenir posibles carencias de suministro. Dicha capacidad de almacenaje será de 5días, es decir, en esta pre-balsa tendremos una cantidad de aceites y/o grasas homogeneizadas capaz de asegurar la producción de biogás durante 5 días consecutivos sin necesidad de un suministro exterior. Por tanto, su volumen mínimo será de:

$$V = \frac{0,1825 \text{ m}^3}{h} * 24 \frac{h}{\text{día}} * 5 \text{ días} = 22 \text{ m}^3$$



## 2.6 ZONA DE RECEPCIÓN Y PRETRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS Y RESTOS DE PODA

---

De acuerdo a las necesidades de la instalación descrita en los apartados anteriores, necesitaremos una cantidad de  $11.700\text{m}^3$  anuales de este tipo de materia orgánica, lo que supone un trasiego diario de  $32\text{m}^3/\text{día}$  o  $1,3\text{m}^3/\text{h}$ . Recordemos que para facilitar el dimensionado de esta partida de materia orgánica, como se justificó anteriormente, se acepta que cada  $1,5\text{m}^3$  posee una masa de 1 tonelada.

Dada la heterogeneidad de este tipo de residuos y su carácter sólido, la recepción de éstos se llevará a cabo sobre una tolva (1a Plano Distribución en Planta). Dicha tolva será metálica de forma semicilíndrica que se instalará sobre una era de hormigón y tendrán un mezclador/triturador interno con el fin de homogeneizar y facilitar su transporte hasta los digestores.

A la salida de la era de hormigón, los residuos agrícolas y restos de poda ya homogeneizados serán mezclados con agua proveniente del residuo final ya digerido con el fin de facilitar su transporte hasta los digestores primarios y facilitar su mezclado lo máximo posible.

Se instalaran dos tolvas capaces de procesar la materia orgánica vertida en su interior. A sí mismo, la era (1 Plano Distribución en Planta), formada por una explanada de tierra firme con un muro de hormigón de 2m de altura, deberá tener un volumen tal que asegure el correcto suministro de la planta de forma diaria y continua, además de dotar a la instalación de cierta capacidad de acumulación de este tipo de materia orgánica con el fin



de prevenir posibles carencias de suministro. Dicha capacidad de almacenaje será de 5 días, es decir, en esta era tendremos una cantidad de residuos agrícolas y restos de poda homogeneizados capaces de asegurar la producción de biogás durante 5 días consecutivos sin necesidad de un suministro exterior. Por tanto, su volumen mínimo será de:

$$V = \frac{1,3 \text{ m}^3}{h} * 24 \frac{h}{\text{día}} * 5 \text{ días} = 156 \text{ m}^3$$

## 2.7 ZONA DE RECEPCIÓN Y PRETRATAMIENTO DE PURINES DE CERDO

---

De acuerdo a las necesidades de la instalación descrita en los apartados anteriores, necesitaremos una cantidad de 40.000m<sup>3</sup> anuales de este tipo de materia orgánica, lo que supone un trasiego diario de 110m<sup>3</sup>/día o 4,6m<sup>3</sup>/h.

Los purines se reciben en esta planta en camiones cisterna, bidones o contenedores, y son descargados sobre una pre-balsa (2 Plano Distribución en Planta) de mezcla de líquidos. Esta pre-balsa de mezcla será cilíndrica, de hormigón armado y con una cubierta de lona plástica para evitar emisiones o malos olores. Se instalará semienterrada.

El volumen de purines que será capaz de albergar en su interior tendrá que asegurar el correcto suministro de la planta de forma diaria y continua, además de dotar a la instalación de cierta capacidad de acumulación de este tipo de materia orgánica con el fin de prevenir posibles carencias de suministro. Dicha capacidad de almacenaje será de 5 días, es decir, en esta pre-balsa tendremos una cantidad de purines homogeneizados capaz de asegurar la producción de biogás durante 5 días consecutivos sin necesidad de un suministro exterior. Por tanto, su volumen mínimo será de:

$$V = \frac{4,6 \text{ m}^3}{h} * 24 \frac{h}{\text{día}} * 5 \text{ días} = 552 \text{ m}^3$$

## 2.8 DIGESTORES PRIMARIOS Y SECUNDARIOS

---

Todos los digestores usados en la instalación serán de iguales características. Se usarán para efectuar una digestión primaria de la materia orgánica en paralelo, es decir, ambos podrán trabajar al mismo tiempo o en caso de reparaciones, o mantenimiento de la instalación, uno de ellos podrá ser parado sin afectar al proceso de producción de biogás (la capacidad de generación de biogás se reducirá en estos casos a la mitad). Posteriormente, la materia orgánica será sometida a una segunda digestión en un digestor secundario conectado en serie con los dos anteriores.

Se ha optado por un digestor tipo CRST, es decir, por digestores de régimen continuo de mezcla perfecta. Sus principales ventajas son las siguientes:

- Tecnología robusta y ampliamente comprobada en Europa.
- Bajos tiempos de retención hidráulica debido a la agitación a la que es sometida la biomasa de su interior.
- Amplia disponibilidad y garantías de funcionamiento.

Los digestores provienen de la empresa alemana Wolf System, los cuales suministran los digestores para ser contruidos in situ. El material con el que están contruidos es hormigón armado (Tipo de hormigón: HA35/B/20/IIa/Qb SR) (Tipo de acero: Bst 500). El sistema se suministra con el sistema de intercambio de calor para mantener la temperatura del proceso específica y los agitadores mecánicos.

---

## 2.8.1 CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS DEL PROCESO DE DIGESTIÓN

---

Como se ha mencionado en el apartado anterior, realizaremos dos digestiones con tal de optimizar la producción de biogás y así reducir al máximo los residuos de materia orgánica que obtengamos.

En una primera fase, la materia orgánica se someterá a una digestión anaerobia en dos digestores (digestores 1 y 2) conectados en paralelo. La temperatura del proceso será en esta primera digestión de 40°C, es decir, la digestión se llevará a cabo en un régimen mesofílico durante 29 días.

Tras la digestión primaria, se procederá a realizar una segunda digestión en un tercer digestor (digestor 3) conectado en serie con los dos primeros. Esta segunda digestión se realizará a 60°C, es decir, en régimen termofílico durante 21 días.

## 2.8.2 DIMENSIONADO DE LOS DIGESTORES PRIMARIOS

Partiremos de la cantidad de materia orgánica diversa almacenada como se vio en los puntos 2.5, 2.6 y 2.7. A modo de resumen, véase la siguiente tabla:

	Caudal diario (m <sup>3</sup> /día)
Aceites y/o grasas	4,38
Residuos agrícolas	32
Purines	110
TOTAL	146,38

También tenemos que tener en cuenta la producción de biogás, ya que los propios digestores tienen que servir como depósitos de biogás que aseguren el suministro del mismo durante un mínimo de cuatro horas a los motores térmicos según recomendación de diseño de la empresa alemana Aqualimpia. Esta capacidad tendrá un valor mínimo de 3320m<sup>3</sup>, ya que, como se vio en el apartado 2.3 la producción anual (8.200 horas) es de 6.801.350m<sup>3</sup>. La capacidad de almacenaje de biogás en los digestores se repartirá entre ellos.

La recomendación de la empresa Aqualimpia también incluye un sobredimensionado del 20% a partir de los volúmenes necesarios en los digestores con el fin de cubrir eventuales variaciones en el trasiego de la materia orgánica.



Dimensionado digestor 1 (4a Plano Distribución en Planta)

Requerimientos	Volúmenes
Materia orgánica (29 días)	$29 \text{ días} \times 73,19\text{m}^3/\text{día} = 2.122,51\text{m}^3$
Coeficiente seguridad (20%)	$2.122,51\text{m}^3 \times 0.2 = 424.5\text{m}^3$
Almacenaje de biogás	$1632,5\text{m}^3$
TOTAL	$4180\text{m}^3$

Dimensionado digestor 2 (4b Plano Distribución en Planta)

Requerimientos	Volúmenes
Materia orgánica (29 días)	$29 \text{ días} \times 73,19\text{m}^3/\text{día} = 2.122,51\text{m}^3$
Coeficiente seguridad (20%)	$2.122,51\text{m}^3 \times 0.2 = 424.5\text{m}^3$
Almacenaje de biogás	$1632,5\text{m}^3$
TOTAL	$4180\text{m}^3$

Dimensionado digestor 3 (5 Plano Distribución en Planta)

Requerimientos	Volúmenes
Materia orgánica (21 días)	$21 \text{ días} \times 146,38\text{m}^3/\text{día} = 3.073,9\text{m}^3$
Coeficiente seguridad (20%)	$3.073,9\text{m}^3 \times 0.2 = 614,8\text{m}^3$
Almacenaje de biogás	$491,3\text{m}^3$
TOTAL	$4180\text{m}^3$

Según este dimensionado de los digestores, aseguramos los tiempos de retención hidráulicos recomendados para este tipo de co-digestión y por otra parte, aseguramos un almacenaje de biogás en los digestores de  $3.756\text{m}^3$ , cumpliéndose un mínimo de suministro a los motores térmicos superior a las 4 horas.

Los detalles constructivos de los digestores se citan a continuación mediante la siguiente tabla facilitada por la empresa Wolf Systems. Tan solo existirá una diferencia entre los digestores primarios y el digestor secundario, siendo ésta el grosor de la pared y solera:

- Pared: 25cm para los digestores primarios y 30cm para el digestor secundario.
- Solera: 23cm para los digestores primarios y 25cm para el digestor secundario.

La diferencia mencionada está motivada por la diferencia de temperaturas durante el proceso de digestión, ya que el digestor secundario requerirá un aislamiento mayor al trabajar a mayores temperaturas.

	Digestores
Volumen interior	$4.180\text{m}^3$
Diámetro interior	30m
Altura interior	6m
Grosor pared	25/30cm (primarios/secundario)
Grosor solera	23/25cm (primarios/secundario)
Aislante exterior	Paneles fibra de vidrio reforzado
Cubierta digestor	Geomembraba de EPDM
Altura pilar central	6,5m
Hormigón armado	Hormigón: HA35/B/20/IIa/Qb SR Acero: Bst 500

---

### 2.8.3 SISTEMA DE AGITACIÓN MECÁNICA DE LOS DIGESTORES

---

A través de la agitación se logra una mejor distribución de la temperatura, la remoción de las burbujas de biogás producidas por las bacterias metanogénicas y un mezclado del sustrato fresco con la población bacteriana existente en el digestor. Adicionalmente se evita la formación de costras sobre la superficie de la biomasa y la formación de espacios muertos sin actividad biológica.

Existen diversos tipos de agitadores, siendo los utilizados en el presente proyecto los de tipo mecánico y eje inclinado por recomendación de la empresa Wolf System.

Su funcionamiento será continuo para evitar el desgaste y aumento de consumo que se da en los motores de los agitadores en cada arranque-parada. La velocidad de agitación es un parámetro de vital importancia, ya que una excesiva agitación podría incluso disminuir la producción de biogás por ruptura de agregados bacterianos.

Los agitadores mecánicos son suministrados por la empresa Wolf System, cada digestor constará de dos agitadores inclinados situados en los laterales del mismo con una potencia estimada por agitador de 15Kwh con un régimen de giro de 75rpm. El motor del agitador se instalará exteriormente, el eje y álabes de la hélice serán de acero inoxidable para evitar la corrosión y su deterioro.

---

## 2.8.4 CUBIERTA DE LOS DIGESTORES

---

En la zona superior de los digestores se instalará una cubierta de EPDM (Caucho Etileno Propileno Dieno tipo M ASTM). Se ha elegido este material debido a sus extraordinarias propiedades físico-químicas como la resistencia a gases, humedad, tracción, rasgado, sol, calor, ozono y agentes ácidos.

El sellado de la geomembrana debe ser tal que asegure una total estanqueidad a una presión de 20mbar en su interior, puesto que será la presión habitual a la que estará sometida al almacenar el biogás generado en el interior del digestor.

Las principales funciones que desarrollará la geomembrana serán las siguientes:

- Evita la construcción separada de un gasómetro puesto que permite almacenar biogás en su interior a la presión requerida para alimentar a los motores.
- Simplifica el mantenimiento del digestor, puesto que es fácilmente removable.
- Asegura un elevado grado de termo-ventilación en la parte superior del digestor, ayudando a deshumedecer el gas almacenado mediante condensación del agua (sobre todo en los meses más fríos) en contacto con la pared de la membrana.



---

## 2.8.5 JUSTIFICACIÓN DEL CONSUMO TÉRMICO DE LOS DIGESTORES

---

Para realizar este cálculo estimativo, usaremos los algoritmos de cálculo para un balance térmico de digestores propuesto en el libro de Ricardo Isla de Juana. Serán presentados ahora los resultados obtenidos tras la realización del balance, uno realizado para un día especialmente frío de acuerdo a las temperaturas mínimas de la ubicación de la instalación y otro llevado a cabo para un día típico de verano.

En los siguientes balances térmicos, no se han tenido en cuenta los efectos de la radiación, puesto que la radiación incidente favorece el calentamiento de los digestores y se ha querido representar la situación más desfavorable. Los materiales constructivos de los digestores son los sugeridos por la empresa Wolf System.

Los resultados de los balances térmicos nos muestran de forma clara la elevada cantidad de calor que tenemos en exceso, es decir, suponiendo la situación más crítica (invierno), la propia instalación genera mucho más excedente de calor que el que requerimos para su correcto funcionamiento, por lo que podemos concluir que dispondremos de la energía calorífica suficiente como para no comprometer el proceso productivo de biogás.

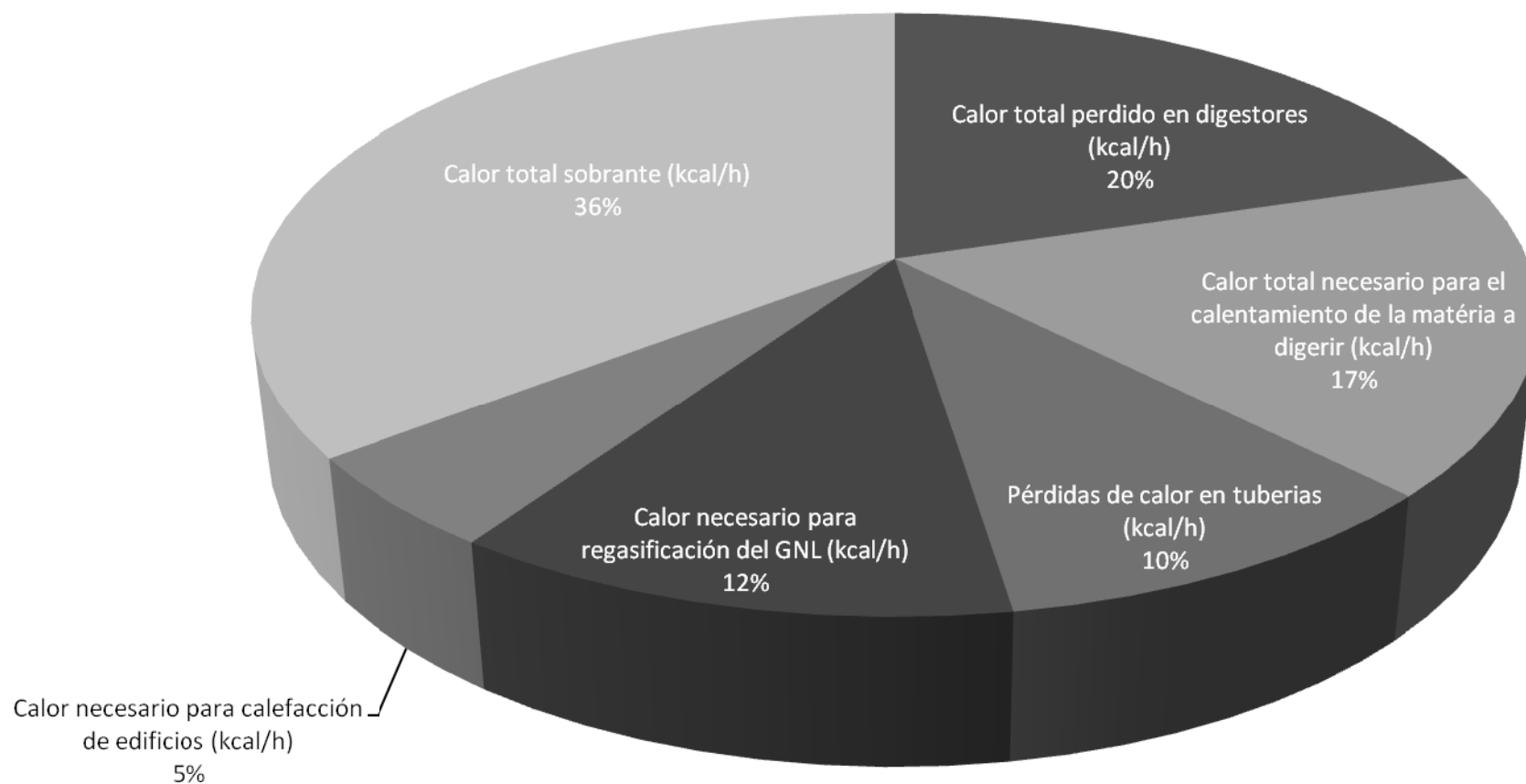


## BALANCE TÉRMICO PARA UNA SITUACIÓN DE TEMPERATURA FRÍA (INVIERNO)

PARÁMETROS DE ENTRADA			
TEMPERATURAS DE OPERACIÓN	DIGESTOR 1	DIGESTOR 2	DIGESTOR 3
Temperatura del digestor (°C)	40,00	40,00	60,00
Temperatura aire exterior (°C)	-5,00	-5,00	-5,00
Temperatura del suelo (°C)	6,00	6,00	6,00
Temperatura del fango alimentado (°C)	10,00	10,00	30,00
PARÁMETROS CONSTRUCTIVOS DE LOS DIGESTORES			
	DIGESTOR 1	DIGESTOR 2	DIGESTOR 3
Altura pared digestor sin enterrar (m)	5,00	5,00	5,00
Altura enterrada (m)	1,00	1,00	1,00
Espesor geomembrana (m)	0,02	0,02	0,02
Espesor hormigón en solera (m)	0,23	0,23	0,25
Espesor pared hormigón (m)	0,25	0,25	0,30
Espesor del aislamiento (m)	0,10	0,10	0,10
Conductividad térmica del hormigón (Kcal/°C·h·m <sup>2</sup> /m)	1,60	1,60	1,60
Conductividad térmica del aislamiento (Kcal/°C·h·m <sup>2</sup> /m)	0,06	0,06	0,06
Conductividad térmica de la geomembrana (Kcal/°C·h·m <sup>2</sup> /m)	0,04	0,04	0,04
Coeficiente global U de la parte enterrada (Kcal/m <sup>2</sup> ·°C·h)	1,00	1,00	1,00
Altura de la cúpula (m)	0,50	0,50	0,50
Diámetro interno digestor (m)	30,00	30,00	30,00
Caudal diario de fangos (m <sup>3</sup> /d)	73,19	73,19	146,38
CARACTERÍSTICAS MOTORES TÉRMICOS			
Calor total disponible (kwh)	2.464,00		
CARACTERÍSTICAS MATERIA ORGÁNICA A DIGERIR			
Capacidad calorífica (Kcal/m <sup>3</sup> ·°C)	1.000,00		

PARÁMETROS DE SALIDA			
PÉRDIDAS DE CALOR EN DIGESTORES	DIGESTOR 1	DIGESTOR 2	DIGESTOR 3
Coeficiente global U de la cúpula (Kcal/m <sup>2</sup> ·°C·h)	2,67	2,67	2,67
superficie cúpula (m <sup>2</sup> )	707,29	707,29	707,29
Calor perdido por la cúpula (Kcal/h)	84.874,20	84.874,20	122.596,07
Coeficiente global U de la zona enterrada (Kcal/m <sup>2</sup> ·°C·h)	1,00	1,00	1,00
superficie zona enterrada (m <sup>2</sup> )	94,20	94,20	94,20
Calor perdido por la zona enterrada (Kcal/h)	3.202,80	3.202,80	5.086,80
Coeficiente global U pared digestor (Kcal/m <sup>2</sup> ·°C·h)	0,55	0,55	0,54
superficie pared digestor (m <sup>2</sup> )	471,00	471,00	471,00
Calor perdido por la pared digestor (Kcal/h)	11.626,97	11.626,97	16.511,46
Coeficiente global U solera (Kcal/m <sup>2</sup> ·°C·h)	1,00	1,00	1,00
superficie solera (m <sup>2</sup> )	706,50	706,50	706,50
Calor perdido solera (Kcal/h)	24.021,00	24.021,00	38.151,00
Calor necesario para el calentamiento de la materia a digerir (Kcal/h)	91.487,50	91.487,50	182.975,00
RESULTADOS BALANCE TÉRMICO TOTAL			
Calor total perdido en digestores (Kcal/h)	429.795,27		
Calor total necesario para el calentamiento de la materia a digerir (Kcal/h)	365.950,00		
Calor total necesario (Kcal/h)	795.745,27		
Pérdidas de calor en tuberías (Kcal/h)	211.904,00		
Calor necesario para regasificación del GNL (Kcal/h)	254.284,80		
Calor necesario para calefacción de edificios (Kcal/h)	105.952,00		
Calor total disponible (Kcal/h)	2.119.040,00		
Calor total sobrante (Kcal/h)	751.153,93		

## RESUMEN BALANCE TÉRMICO (INVIERNO)



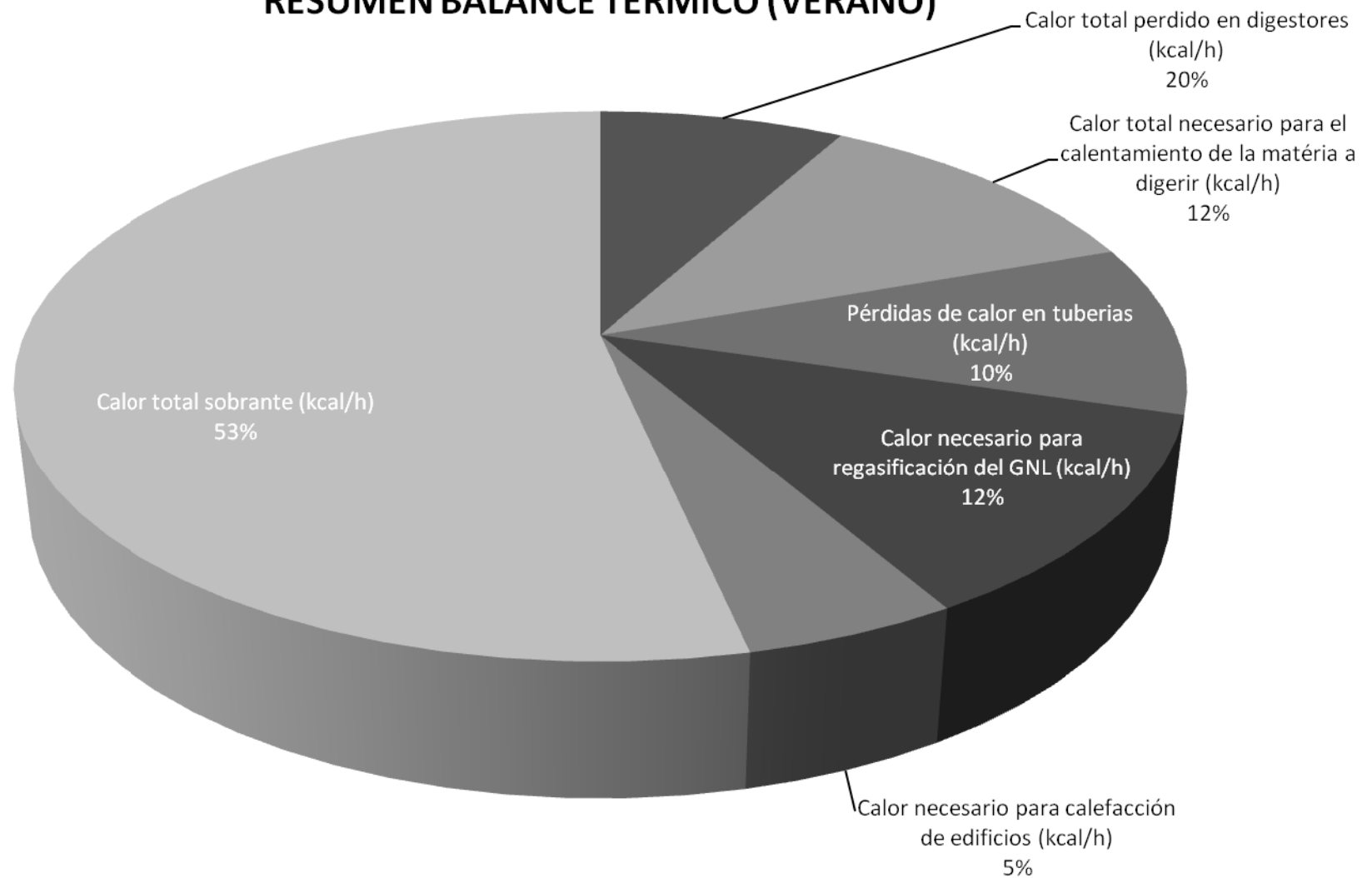
## BALANCE TÉRMICO PARA UNA SITUACIÓN DE TEMPERATURA CÁLIDA (VERANO)

PARÁMETROS DE ENTRADA			
TEMPERATURAS DE OPERACIÓN	DIGESTOR 1	DIGESTOR 2	DIGESTOR 3
Temperatura del digestor (°C)	40,00	40,00	60,00
Temperatura aire exterior (°C)	30,00	30,00	30,00
Temperatura del suelo (°C)	20,00	20,00	20,00
Temperatura del fango alimentado (°C)	22,00	22,00	38,00
PARÁMETROS CONSTRUCTIVOS DE LOS DIGESTORES			
	DIGESTOR 1	DIGESTOR 2	DIGESTOR 3
Altura pared digestor sin enterrar (m)	5,00	5,00	5,00
Altura enterrada (m)	1,00	1,00	1,00
Espesor geomembrana (m)	0,02	0,02	0,02
Espesor hormigón en solera (m)	0,23	0,23	0,25
Espesor pared hormigón (m)	0,25	0,25	0,30
Espesor del aislamiento (m)	0,10	0,10	0,10
Conductividad térmica del hormigón (Kcal/°C·h·m <sup>2</sup> /m)	1,60	1,60	1,60
Conductividad térmica del aislamiento (Kcal/°C·h·m <sup>2</sup> /m)	0,06	0,06	0,06
Conductividad térmica de la geomembrana (Kcal/°C·h·m <sup>2</sup> /m)	0,04	0,04	0,04
Coeficiente global U de la parte enterrada (Kcal/m <sup>2</sup> ·°C·h)	1,00	1,00	1,00
Altura de la cúpula (m)	0,50	0,50	0,50
Diámetro interno digestor (m)	30,00	30,00	30,00
Caudal diario de fangos (m <sup>3</sup> /d)	73,19	73,19	146,38
CARACTERÍSTICAS MOTORES TÉRMICOS			
Calor total disponible (kwh)	2.464,00		
CARACTERÍSTICAS MATERIA ORGÁNICA A DIGERIR			
Capacidad calorífica (Kcal/m <sup>3</sup> ·°C)	1.000,00		

PARÁMETROS DE SALIDA			
PÉRDIDAS DE CALOR EN DIGESTORES	DIGESTOR 1	DIGESTOR 2	DIGESTOR 3
Coeficiente global U de la cúpula (Kcal/m <sup>2</sup> ·°C·h)	2,67	2,67	2,67
superficie cúpula (m <sup>2</sup> )	707,29	707,29	707,29
Calor perdido por la cúpula (Kcal/h)	18.860,93	18.860,93	56.582,80
Coeficiente global U de la zona enterrada (Kcal/m <sup>2</sup> ·°C·h)	1,00	1,00	1,00
superficie zona enterrada (m <sup>2</sup> )	94,20	94,20	94,20
Calor perdido por la zona enterrada (Kcal/h)	1.884,00	1.884,00	3.768,00
Coeficiente global U pared digestor (Kcal/m <sup>2</sup> ·°C·h)	0,55	0,55	0,54
superficie pared digestor (m <sup>2</sup> )	471,00	471,00	471,00
Calor perdido por la pared digestor (Kcal/h)	2.583,77	2.583,77	7.620,67
Coeficiente global U solera (Kcal/m <sup>2</sup> ·°C·h)	1,00	1,00	1,00
superficie solera (m <sup>2</sup> )	706,50	706,50	706,50
Calor perdido solera (Kcal/h)	14.130,00	14.130,00	28.260,00
Calor necesario para el calentamiento de la materia a digerir (Kcal/h)	54.892,50	54.892,50	134.181,67
RESULTADOS BALANCE TÉRMICO TOTAL			
Calor total perdido en digestores (Kcal/h)	171.148,88		
Calor total necesario para el calentamiento de la materia a digerir (Kcal/h)	243.966,67		
Calor total necesario (Kcal/h)	415.115,55		
Pérdidas de calor en tuberías (Kcal/h)	211.904,00		
Calor necesario para regasificación del GNL (Kcal/h)	254.284,80		
Calor necesario para calefacción de edificios (Kcal/h)	105.952,00		
Calor total disponible (Kcal/h)	2.119.040,00		
Calor total sobrante (Kcal/h)	1.131.783,65		



## RESUMEN BALANCE TÉRMICO (VERANO)



## 2.9 PLANTA REGASIFICADORA DE GNL

---

La planta regasificadora (6 Plano Distribución en Planta) estará situada dentro de un perímetro de seguridad a la distancia de seguridad pertinente respecto al resto de construcciones de la instalación según normativa de protección contra incendios (RD 314/2006). En esta planta el gas pasará de estado líquido a gaseoso de nuevo. El suministro de gas natural licuado será externo a través de empresas comercializadoras.

De acuerdo a la normativa fijada por el RD 661/2007, la planta podrá consumir un máximo del 10% de combustible primario para la obtención de la energía eléctrica. Gracias a la inclusión de este segundo combustible, podemos aumentar el rendimiento de la planta a la hora de producir energía eléctrica y podemos salvar eventuales problemas derivados de una insuficiente producción de biogás.

Tal y como se expuso en el punto 2.3, la producción estimada de biogás es la siguiente:

MATERIA ORGÁNICA	METROS CÚBICOS/AÑO	METROS CUBICOS BIOGAS/METRO CUBICO RESIDUO	METROS CUBICOS/AÑO DE BIOGAS GENERADO
PURIN DE CERDO	40.000	75	3.001.350
RESIDUOS AGRÍCOLAS	11.700	240	2.808.000
GRASAS Y/O ACEITES	1.600	620	992.000
TOTAL			<b>6.801.350</b>

La estimación de producción de biogás anual es de  $6.801.350\text{m}^3$ , si tenemos en cuenta que esto supone el 90% del total y que se va a introducir una máximo del 10% de gas natural, tendremos la siguiente estimación de gas natural requerido:

	CONSUMO MOTORES TÉRMICOS ( $\text{M}^3$ )
BIOGÁS (90%)	6.801.350
GAS NATURAL (10%)	755.705
TOTAL GAS CONSUMINDO	7.557.055

Según esta estimación, la cantidad máxima necesaria de gas natural no sobrepasará los  $755.705\text{m}^3$  anuales. Este gas natural se encontrará licuado en el interior de un tanque criogénico a  $-162^\circ\text{C}$ , lo cual permitirá reducir su volumen unas 600 veces respecto a su volumen en condiciones normales. Usaremos un tanque con una capacidad de gas natural licuado de  $60\text{m}^3$  con el fin de asegurar su suministro.

Debido al estado en el que se encuentra almacenado el gas natural, tendremos que realizar una gasificación forzada mediante una convección forzada en un intercambiador tubular de calor, donde se intercambiará el calor procedente del agua caliente procedente del motor térmico y el gas natural licuado procedente del tanque criogénico.

Una vez regasificado el gas natural, pasará por una estación de regulación y medición (E.R.M), donde será filtrado y regulado hasta presión atmosférica para ser introducido en los motores térmicos.

## 2.10 MOTORES TÉRMICOS Y CONSUMO DE BIOGAS Y GAS NATURAL

---

Cada uno de los dos motores térmicos que se instalarán en la planta (7ª y 7b Plano Distribución en Planta) tendrá las mismas características. El tipo de motor escogido es un MWM TCG 2020 V12. Sus características técnicas completas se pueden consultar en el anexo correspondiente.

Cada motor posee dos conducciones de acceso, una para el gas natural y otra para el biogás producido. El sistema de control propio del motor escogido será el encargado de optimizar la mezcla de ambos gases más aire del exterior en el carburador del motor.

Para llevar a cabo las justificaciones de consumos y producción energética, se ha de establecer que el poder calorífico inferior (P.C.I) del gas natural es de 10KWh/m<sup>3</sup>, mientras que el del biogás generado es de 6,5KWh/m<sup>3</sup>, por tanto:

	GAS DISPONIBLE (M <sup>3</sup> )	P.C.I (KWh/m <sup>3</sup> )	ENERGÍA GENERADA (KWh)
BIOGÁS (90%)	6.801.350	6,5	44.208.775
GAS NATURAL (10%)	755.705	10	7.557.050
TOTAL	7.557.055		51.765.825

Puesto que, según especificaciones adjuntas en el anexo correspondiente sobre los motores térmicos escogidos, su consumo energético es de 2851KWh, vemos que si esta cantidad la tenemos en

cuenta para los dos motores y durante un funcionamiento anual de 8200h, obtenemos los siguientes consumos:

	CONSUMO ( KWh)	CONSUMO TOTAL ANUAL (KWh)
MOTOR 1	2.851	23.378.200
MOTOR 2	2.851	23.378.200
TOTAL	5.702	46.756.400

Gracias a este consumo de energía térmica proporcionada por la combustión de la mezcla de gas natural (10%) y de biogás (90%), los motores ofrecerán una potencia eléctrica en bornes de 1.200KWh según especificaciones. El excedente de biogás, si lo hubiere, sería quemado en las antorchas. Los 1.200KWh suponen una producción de energía eléctrica total de:

	ENERGÍA ELÉCTRICA EN BORNES ( KWh)	ENERGÍA ELÉCTRICA TOTAL ANUAL EN BORNES ( KWh)
MOTOR 1	1.200	9.840.000
MOTOR 2	1.200	9.840.000
TOTAL	2.400	19.680.000

De esta producción de electricidad, debemos descontar la necesaria para el autoconsumo de la instalación como se indicó en el punto 2.2. Dicha energía eléctrica estimada es del orden del 9%, es decir, unos 200KWh (1.640 MWh anuales), luego si incluimos dicho autoconsumo, obtendremos una producción neta total estimada de:



	CANTIDADES ANUALES (8.200h) DE ENERGÍA (MWh)
ENERGÍA ELÉCTRICA NETA PRODUCIDA (MWh)	19.680
ENERGÍA ELÉCTRICA PARA AUTOCONSUMO (MWh)	1.640
TOTAL ENERGÍA EXPORTADA (MWh)	<b>18.040</b>

Por otro lado, la producción de energía eléctrica mediante este tipo de motores conlleva una producción de energía térmica, la cual será utilizada principalmente para mantener la temperatura del proceso en los digestores y para llevar a cabo la regasificación del GNL.

De acuerdo a las especificaciones de los motores usados, cada uno de los motores tiene una potencia térmica de 1.232Kwh, es decir, tendremos una potencia térmica total disponible de 2.464Kwh. Teniendo en cuenta que ambos motores funcionaran 8.200h anuales, dispondremos de la siguiente energía térmica total en la planta:

	ENERGÍA TÉRMICA ( KWh)	ENERGÍA TÉRMICA TOTAL (KWh)
MOTOR 1	1.232	10.102.400
MOTOR 2	1.232	10.102.400
TOTAL	2.464	<b>20.204.800</b>

## 2.11 INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

---

El presente proyecto se basa en el cumplimiento del Real decreto 842/2002 del 2 de Agosto por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico en Baja Tensión y las Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) BT 01 a BT 051.

### 2.11.1 INSTALACIÓN GENERADORA EN BAJA TENSIÓN

---

Se dispondrá de dos equipos de cogeneración los cuales transformarán la energía producida por la combustión de biogás y gas natural en energía eléctrica y térmica. La capacidad total generadora de energía eléctrica será de 2.400 Kwh con un autoconsumo estimado de 200Kwh, por lo que la inyección de energía total a la red será de 2.200Kwh.

Los motores generarán la energía eléctrica en Baja Tensión y cada uno dispondrá de un cuadro de potencia de salida hacia el centro de transformación donde se evacuará la energía no consumida en la planta.

## 2.11.2 GENERADOR ELÉCTRICO

La producción de energía eléctrica se realizará en dos contenedores iguales que constan del equipo de cogeneración compuesto por el motor y generador que dispone de la declaración de conformidad correspondiente a la directiva de la Unión Europea 8/7/EG (Máquinas), 73/23/EEG (Baja Tensión) y 89/336/EEG (Compatibilidad Electromagnética).

La potencia máxima admisible teniendo en cuenta la potencia de los equipos de cogeneración será de 2.400Kw.

### Contenedor 1

#### Motor

Fabricante/Modelo	MWM/TCG2020V12
Número cilindros	12 en V a 60°
Revoluciones	1500rpm
Combustible	Biogás

#### Generador

Fabricante/Modelo	Marelli/MJB 450 LB4
Potencia	450kVA
Rendimiento de la carga nominal	97,2%
Tensión	400/230V
Frecuencia	50Hz
Revoluciones	1500rpm
Tipo aislamiento	H

## Contenedor 2

### Motor

Fabricante/Modelo	MWM/TCG2020V12
Número cilindros	12 en V a 60°
Revoluciones	1500rpm
Combustible	Biogás

### Generador

Fabricante/Modelo	Marelli/MJB 450 LB4
Potencia	450kVA
Rendimiento de la carga nominal	97,2%
Tensión	400/230V
Frecuencia	50Hz
Revoluciones	1500rpm
Tipo aislamiento	H

---

### 2.11.3 SUMINISTRO DE ENERGÍA

---

La energía procedente de los motores de cogeneración se suministrará al centro de medida y transformación a la tensión de 230V entre fase y neutro, y 400V entre fases, la cual tras el proceso de transformación será conectada a la red de distribución eléctrica a la tensión de 25kV.

## 2.12 SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL BIOGÁS GENERADO

---

La purificación del biogás (8 Plano Distribución en Planta) es de crucial importancia para garantizar los mejores rendimientos de los procesos de explotación de biogás y para reducir el impacto de las emisiones gaseosas. Naturalmente, los tratamientos de purificación afectan a los costes de producción y consecuentemente al precio final de la energía generada.

Dado que los motores térmicos escogidos están especialmente diseñados para su uso con biogás procedente de la digestión de excrementos animales, son relativamente tolerantes con ciertas concentraciones de compuestos que a priori podrían considerarse nocivas.

Tan solo existe un compuesto con el que hemos de tener especial cuidado para su eliminación, este es el ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ), el cual podría favorecer el fallo por corrosión de los componentes metálicos de los motores de cogeneración, además de ser un factor importante en la formación de óxidos de azufre ( $SO_x$ ) contaminante primario causante en gran medida de la lluvia ácida..

Existen numerosos métodos para su eliminación, si bien el utilizado en el presente proyecto será una desulfuración biológica externa donde se hace pasar al biogás a través de un biofiltro con relleno plástico sobre el que se adhieren las bacterias desulfurizantes (*Thiobacillus*).

Gracias a este proceso, podemos disminuir los contenidos en  $H_2S$  de 3000-5000 ppm a 50 ppm. Hemos de tener en cuenta que al hacer circular



el biogás generado a través de los biofiltros, tendremos una pérdida de presión estimada de unos 15mbar, por lo que en el sistema de tratamiento ha de preverse la instalación de unos sopladores que se sitúen a la entrada de la alimentación de los motores para asegurar la presión de suministro de biogás sea la correcta (20mbar).

Existen otros métodos más usuales para la eliminación del  $H_2S$ , como la adición de sales férricas, pero presentan el problema de que un exceso podría atenuar o incluso inhibir la producción de biogás.

## 2.13 SEPARADOR SÓLIDO/LÍQUIDO

---

Una vez la materia orgánica haya sido digerida en los dos procesos de digestión nos encontraremos con un lodo totalmente estabilizado y tremendamente acuoso, pues estará compuesto en un 90% de agua. Dicha concentración de agua nos obliga a reducir su volumen mediante un separador de fases sólido-líquido (10 Plano de distribución en Planta).

Dicho separador de fases será del tipo filtro-prensa habitualmente utilizado en el sector de deshidratación de lodos. Su elección será ajustado al flujo de producción de la planta, es decir, deberá de ser capaz de tratar un caudal de lodos digeridos de  $146,38\text{m}^3/\text{día}$  o  $6,1\text{m}^3/\text{h}$  y capaz de retirar un 20% de agua de dichos lodos, siendo utilizada una pequeña parte de ésta para recircularla en el proceso.

Sería interesante el estudio de la posibilidad de añadir a la materia orgánica en el momento de su digestión (previo al proceso de separación de fases) algún tipo de polielectrolito con el fin de mejorar la separación de fases. Dentro de los distintos tipos disponibles, sería de gran interés la adición de sales de hierro ya que además de facilitar la separación de fases, podemos reducir la cantidad de  $\text{H}_2\text{S}$ , sirviendo de apoyo al biofiltro para el filtrado del biogás producido. Las concentraciones a utilizar serían aquellas que no comprometan la producción de  $\text{CH}_4$  ya que en exceso podemos atenuar la metanogénesis.

## 2.14 DESHIDRATACIÓN DE LODOS

---

Tras haber reducido el contenido en agua de los lodos en el separador de fases, todavía tendremos un lodo con un alto contenido en agua pues tan solo la habremos reducido en un 20%.

Con el fin de reducir aún más dicho contenido en agua para obtener finalmente un producto con una cantidad menor de agua, aprovecharemos el excedente de biogás y calor de la planta para hacer pasar este lodo por un horno con quemadores.

Este último proceso de secado (11 Plano de distribución en Planta) se llevará a cabo gracias a la tecnología ya implantada de la empresa Drace Medioambiente, la cual combina el exceso de calor y gases de escape que tenemos en los motores térmicos con el quemado de una parte del biogás generados con el fin de reducir considerablemente el contenido en agua de la materia orgánica.

El calor demandado por el proceso de precalentamiento del fango para el secado mecánico, no requiere temperaturas muy altas, ya que contamos con un lodo que tras su segunda digestión se encuentra a 60°C, y es posible obtenerlo del circuito de refrigeración de los motores. Para el secado térmico, se utiliza calor de los gases de escape y la combustión de Biogás. Un intercambiador de placas agua/agua transfiere el calor de los circuitos de refrigeración primarios de cada motor a un circuito secundario. Se conduce el agua de este circuito, con una temperatura de aproximadamente 80°, a un colector común que proporciona el calor de precalentamiento a las secadoras mecánicas. El agua de este circuito secundario regresa de nuevo al intercambiador a una temperatura de 70°C. En este proceso se alcanza hasta una reducción aproximada del 15% de

concentración de fango, lo cual supone la eliminación de un importante volumen de agua antes de entrar en el secado térmico.

El secador térmico es del tipo convección indirecta, y produce el calor necesario para la deshidratación tras el quemado del biogás excedente. Recordemos que la cantidad de biogás sobrante (no usado por los motores térmicos) mediante las siguientes tablas ya analizadas en el apartado 2.10 del presente proyecto:

	GAS DISPONIBLE (M <sup>3</sup> )	P.C.I (KWh/m <sup>3</sup> )	ENERGÍA GENERADA (KWh)
BIOGÁS (90%)	6.801.350	6,5	44.208.775
GAS NATURAL (10%)	755.705	10	7.557.050
TOTAL	7.557.055		51.765.825

	CONSUMO ( KWh)	CONSUMO TOTAL ANUAL (KWh)
MOTOR 1	2.851	23.378.200
MOTOR 2	2.851	23.378.200
TOTAL	5.702	46.756.400

Analizando estas tablas, se llega a la conclusión de que disponemos de la siguiente energía térmica anual al quemar el biogás sobrante (considerando un rendimiento térmico de los quemadores igual al de los motores térmicos):

ENERGÍA TÉRMICA GENERADA	ENERGÍA TÉRMICA CONSUMIDA	ENERGÍA TÉRMICA DISPONIBLE
51.765.825 Kw	46.756.400 Kw	5.009.425Kw



Esta energía térmica equivale a una cantidad de 611Kw/h, usada por el horno de quemadores para eliminar la máxima cantidad posible de humedad del lodo digerido.

La empresa Drace sostiene que para obtener una deshidratación del 90% del lodo sobre un caudal de 111 m<sup>3</sup>/día es necesaria una energía térmica en los quemadores de 2.930Kw/h, por lo que en nuestro caso nunca seríamos capaces de llegar a este nivel de deshidratación, si bien, si realizamos una estimación, podríamos suponer una deshidratación total del 30%.

Dicha suposición tiene en cuenta la reducción producida mediante la deshidratación producida por el calor y gases de escape de los motores térmicos (estimada en torno a un 15%) y la producida mediante la quema del biogás sobrante (estimada en torno al 15% ya que para una deshidratación del 90% es necesario un aporte de 2.930Kwh y tan solo se dispone de 611Kwh).

Cabe recalcar que el objetivo de este último proceso es precisamente el de reducir el volumen de lodos generado, mejorar su manejabilidad, disminuir el contenido en nitrógeno debido a pérdidas por volatilización y obtener un producto final mas estabilizado.



## **CAPÍTULO 3: VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS GENERADOS**

---

## 3.1 RESIDUOS GENERADOS

---

La presente instalación generará dos residuos de gran valor para aplicaciones agrarias: Agua rica en nutrientes apta para el abonado de tierras de cultivo adyacentes a la planta y un biofertilizante parcialmente desecado con cierta consistencia.

---

### 3.1.1 AGUA RICA EN NUTRIENTES

---

El agua rica en nutrientes será devuelta a los campos para enriquecerlos con los nutrientes necesarios para su explotación agraria. Recordemos que la zona donde se va a llevar a cabo la instalación, existe durante muchos años la problemática de contaminación de aguas subterráneas y tierras de cultivo por elevadas concentraciones de nutrientes (sobre todo Nitrógeno) por el vertido directo de los purines de cerdo.

La normativa de la Comunidad Valenciana con respecto al vertido de purines establece (véase Ordenanza reguladora de la Comunidad Valenciana de la actividad ganadera y del vertido y utilización de los residuos ganaderos y otro abonos orgánicos con fines agrícolas) que el vertido de purines en tierras de uso agrícola he de cumplir ciertas condiciones por las que se condiciona el vertido a un número concreto de hectáreas mínimo. La experiencia de los últimos años demuestra que la aplicación de esta normativa es extremadamente laxa con las explotaciones particulares.

De forma más habitual de lo que la normativa indica, los ganaderos porcinos llegan a acuerdos con los agricultores (especialmente de la naranja) de las zonas adyacentes para abonar sus tierras, pero en raras

ocasiones se cumplen las normativas de superficie capaz de asimilar estos purines, con los problemas que ello conlleva citados anteriormente.

Por otra parte, el agua rica en nutrientes se encuentra completamente estabilizada, es decir, no desprende ningún olor desagradable con los beneficios que ello conlleva. También habría que recalcar que este agua está completamente libre de patógenos, ya que en la planta se ha realizado un proceso de digestión en régimen termofílico (60°C), por lo que prácticamente se ha pasteurizado la materia orgánica tratada.

Con estos preceptos, es fácil imaginar el elevado valor para los agricultores de esta agua, y además se ha reducido la cantidad de agua disponible con respecto a la entrada inicial de purines, por lo que facilita el cumplimiento de la normativa vigente en cuanto a vertido sobre tierras de cultivo.

La cantidad de agua estimada, como se indicó anteriormente, será del 20% (30m<sup>3</sup>/día) del caudal diario de entrada de materia orgánica a la instalación. La separación se llevará a cabo en el separador de fases sólido-líquido.

Los agricultores de la zona podrán disponer de ella de forma completamente gratuita ya que se encontrará almacenada en una balsa para facilitar su carga.

---

### 3.1.2 BIOFERTILIZANTE

---

El segundo subproducto generado en la instalación será biofertilizante o bioabono. Veamos sus principales características si lo comparamos con el sustrato inicial:

- Composición más homogénea.
- Mayor manejabilidad al estar parcialmente deshidratado.
- Eliminación de olores y no atrae moscas.
- Elevada disminución de patógenos al haber recibido una digestión en régimen termofílico.
- Eliminación de larvas, hongos, parásitos y semillas de malas hierbas.

Su uso es altamente recomendado, ya que posee las siguientes ventajas:

- Posee un ph del orden de 7,5, por lo que puede usarse como corrector de acidez del suelo.
- Mejora la estructura del suelo, dejándolo más trabajable y facilitando la penetración de raíces.
- La nutrición del suelo es lenta pero continua, ya que los nutrientes se liberan paulatinamente mediante procesos de descomposición de la materia orgánica.
- Aumenta el contenido de humus del suelo, por lo que airea el terreno y aumenta su capacidad de retención de agua.
- Aumenta la producción del terreno en comparación con terrenos no abonados.
- Atractivo medioambiental y comercial por ser declarado producto ecológico, con el consiguiente valor añadido que le brinda.

La explotación de este bioabono se dejará en manos de una empresa capaz de gestionar este recurso para poder comercializarlo tras su empaquetado. Puede comercializarse en estado líquido o realizar un compostaje para volverlo totalmente sólido y ensacarlo.



## **CAPÍTULO 4: PRESUPUESTO Y ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO**

---

## 4.1 PRESUPUESTO DE LA INSTALACIÓN

El presupuesto total de la instalación se divide en los siguientes capítulos:

### 01 EQUIPAMIENTO

Tanques de alimentación de materia orgánica	227.742,06 €
Bombas, balsas recirculación	322.949,54 €
Digestores	1.168.848,62 €
Tratamiento gas	297.949,54 €
Motores térmicos y generador	650.691,60 €
Antorchas	61.815,70 €
Secado lodos	325.000,70 €
Equipos de medida	52.055,33 €
Bridas y Válvulas	45.548,41 €
Caseta y sistemas de control	58.562,24 €
Tolvas de entrada materia orgánica	42.294,95 €
<b>TOTAL EQUIPAMIENTO</b>	<b>3.253.458,00 €</b>

### 02 OBRA CIVIL

Movimiento de tierras y zanjas	610.965,60 €
Zona recepción materia orgánica	314.210,88 €
Era entrada materia orgánica	187.280,80 €
Balsa de acumulación de digestados	284.035,52 €
Obra civil general	349.123,20 €
<b>TOTAL OBRA CIVIL</b>	<b>1.745.616,00 €</b>

### 03 INSTALACIONES

Instalación Hidráulica	201.189,30 €
Instalación Eléctrica	120.713,58 €
Instalación de gas	134.126,20 €
Instalación del sistema de calefacción	147.538,82 €
Instalación de los equipos	67.063,10 €
<b>TOTAL INSTALACIONES</b>	<b>670.631,00 €</b>

### 04 APARTADOS GENERALES DEL PROYECTO

Iluminación	25.381,80 €
Vallado y accesorios	74.030,25 €
Puesta en marcha	84.606,00 €
Regulación y laboratorio	27.496,95 €
<b>TOTAL APARTADOS GENERALES DEL PROYECTO</b>	<b>211.515,00 €</b>

### 05 INGENIERÍA Y DIRECCIÓN DE OBRA

Trabajos de ingeniería y Dirección de obra	585.000,00 €
<b>TOTAL INGENIERÍA Y DIRECCIÓN DE OBRA</b>	<b>585.000,00 €</b>

### 06 LICENCIAS Y TASAS

Licencias obra ayuntamiento y otras tasas	21.365,00 €
<b>TOTAL LICENCIAS Y TASAS</b>	<b>21.365,00 €</b>

## 07 ESTIMACIÓN CONEXIÓN A LA RED DE DISTRIBUCIÓN

Proyecto, línea eléctrica y seccionador	262.869,75€
Equipos de conexión a red	101.103,75€
Punto de conexión a red de distribución	40.441,5 €
<b>TOTAL CONEXIÓN A RED</b>	<b>404.415,00 €</b>

**TOTAL PRESUPUESTO DEL PROYECTO 6.892.000 €**

## 4.2 ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO

---

### 4.2.1 CUANTIFICACIÓN DE LA INVERSIÓN

---

En el anterior punto se incluye un presupuesto orientativo de la obra. En el siguiente estudio económico se incluye una simulación de los capítulos que se ejecutarán en la obra de la planta de biogás.

Para llevar a cabo dicha simulación, se considera sin coste de inversión el terreno donde se llevará a cabo la obra pues se supone cedido por el/los interesados. La siguiente tabla muestra un resumen por capítulos de la inversión de la planta de biogás.

CAPÍTULO	COSTE
Equipamiento	3.253.458,00 €
Obra civil	1.745.616,00 €
Instalaciones	670.631,00 €
Conexión a red	404.415,00 €
Apartados generales del proyecto	211.515,00 €
Ingeniería y dirección de obra	585.000,00 €
Licencias y tasas	21.365,00 €
<b>TOTAL</b>	<b>6.892.000 €</b>



---

## 4.2.2 INGRESOS Y GASTOS

---

### 4.2.2.1 INGRESOS

---

La planta de biogás utiliza como materia prima principal los purines de cerdos generados por la actividad porcina de la zona y, en menor medida, otros tipos de materia primas orgánicas provenientes de la actividad agrícola que se da en zonas cercanas a la instalación. Por medio del proceso de digestión anaeróbica se obtiene biogás que se utiliza como combustible para los motores térmicos y una materia orgánica digerida que podemos usar como biofertilizante para plantaciones agrícolas.

Los motores térmicos producen energía eléctrica para exportar a la red y una elevada cantidad de energía térmica, la cual además de ser utilizada para mantener la temperatura del proceso de digestión puede ser utilizada para la calefacción de los edificios de la instalación así como para las granjas más cercanas de cría de cerdos.

En la simulación del plan económico, no supondremos ningún ingreso que no sea el propiamente derivado de la venta de energía eléctrica, si bien, más adelante se mencionarán los generados por el calor excedente y la venta de bio-fertilizante. Tampoco incluiremos ningún ingreso extra por la aceptación de los productos a digerir ya que en un inicio, estos productos podrían incluso suponer un ingreso extra, pero el mercado los podría situar como un cierto gasto con el paso del tiempo.

De la energía eléctrica producida se realizará un autoconsumo por parte de la propia planta (equipos auxiliares) y el resto se exportará a la red de distribución. El precio de venta de la energía eléctrica viene determinado

por las tarifas eléctricas vigentes, reguladas y garantizadas vía Real Decreto y cuyo precio se actualiza anualmente por medio de una publicación en el BOE. Actualmente está vigente el RD 661/2007 que cataloga la energía producida con una planta de biogás por medio de digestores anaerobios utilizando productos y residuos biodegradables como perteneciente al grupo b.7 y subgrupo b.7.2, fijando el precio para el año 2010 para instalaciones de energía superior a 500Kwh a 10,2409cent€/Kwh, más el complemento por energía reactiva a 8,2954cent€/Kwh, el cual supone un 2,2% de media de la producción de energía eléctrica exportada (este complemento es una estimación, pues depende del factor de potencia final de la instalación así como de la franja horaria de producción).

Se muestran ahora dos tablas con la estimación de los ingresos producidos por la planta durante el primer año de funcionamiento y los posteriores. Se hace esta distinción porque durante el primer año de producción de la planta se contempla el proceso de puesta en marcha cuya duración es de varios meses hasta que el proceso de digestión se estabiliza.

INGRESOS PLANTA DE BIOGÁS AL 100% PRODUCCIÓN			
Tipo de energía	Cantidad producida (Kwh)	Precio de venta (cent€/Kwh)	Total ingresos (€/año)
Activa	18.040.000	10,2409	1.847.458,30
Reactiva (2,2%)	396.483	8,2954	32.889,80
TOTAL			1.880.348,10

INGRESOS PLANTA DE BIOGÁS AL 75% PRODUCCIÓN (PRIMER AÑO)			
Tipo de energía	Cantidad producida (Kwh)	Precio de venta (cent€/Kwh)	Total ingresos (€/año)
Activa	13.530.000	10,2409	1.385.593,70
Reactiva (2,2%)	297.362,20	8,2954	24.667,40
TOTAL			1.410.261

#### 4.2.2.2 GASTOS

---

Los gastos de la planta de biogás se dividen en tres principales partidas:

- Mantenimiento de los motores de cogeneración
- Operación y mantenimiento de la planta general
- Gastos generales (seguros, gestión, etc.)

El motor de cogeneración es la principal máquina de la instalación y como tal requiere de un mantenimiento muy exhaustivo ya que trabaja una media de 8.200 horas al año. Se han de realizar desde simples cambios de aceite y filtros hasta sustituciones de piezas importantes con el fin de dejar el motor operativo. El motor viene con un plan de mantenimiento previsto para toda su vida que incorpora mantenimientos preventivos y correctivos. Según la empresa que suministra dichos motores, el precio del mantenimiento del motor de por vida tiene un coste de 0,012 €/Kwh producido.

La operación y mantenimiento general de la planta incluye el mantenimiento del resto de la instalación, sueldo del personal que trabaja en la planta y demás gastos de servicios y suministros contratados. Se prevé que esta partida sea de un 1,5% anual de la inversión realizada.

Por último, dentro de los gastos generales, destaca sobre el resto la partida dedicada a los seguros necesarios como son la de responsabilidad medioambiental por gestor de residuos, el seguro de responsabilidad civil y un seguro a todo riesgo de la maquinaria de la planta. También se incluye en esta partida los gastos de administración y gestión de la planta y finalmente los gastos de representación en el mercado de venta de energía y posibles desviaciones en la producción de la misma. En total,

supondremos que esta partida de gastos sea del 2% de los ingresos anuales.

Como se ha dicho anteriormente, no se va a tener en cuenta ni gastos ni ingresos derivados del abastecimiento de purines de cerdo, dicho acuerdo se ha de reflejar mediante un contrato firmado con los propietarios de los cerdos para garantizar su suministro.

Para optimizar la producción de energía en esta planta se introduce en el sistema de admisión de los motores de cogeneración un porcentaje de gas natural como combustible secundario. El suministro de GNL será externo, y se comprará a empresas comercializadoras. Se prevé gastar al año una cantidad de  $755.705\text{m}^3$  de gas natural regasificado en condiciones normales de funcionamiento. El precio estimado es de  $0,27\text{€/m}^3$ .

A continuación se muestra una tabla resumen de los gastos que van asociados a la planta de generación de biogás en un año. Se han hecho dos simulaciones, una en un año normal de operación y otra correspondiente al primer año que incluye la puesta en marcha estimada en varios meses de duración.

Mantenimiento motor de cogeneración			
Coste (€/Kwh producido)	Producción (Kwh/año)	Total Primer año (75%)	Total año posterior (100%)
0,012	19.680.000,0	177.120,00 €	236.160,00 €
Operación y mantenimiento de la planta			
Coste (1,5% inversión)	Inversión (Euros)	Total Primer año (75%)	Total año posterior (100%)
1,5	6.892.000,0	103.380,00 €	103.380,00 €
Gastos generales, seguros y administración			
Coste (2% ingresos anuales)	Ingresos anuales (Euros)	Total Primer año (75%)	Total año posterior (100%)
2,0	1.880.348,1	28.205,22 €	37.606,96 €
Aprovisionamiento de GNL			
Coste (€/m3)	Consumo GNL (m3)	Total Primer año (75%)	Total año posterior (100%)
0,27	755.705,0	153.030,26 €	204.040,35 €
TOTAL GASTOS (EUROS)		461.735,48 €	581.187,31 €



---

### 4.2.3 COSTE DEL KWH PRODUCIDO

---

El coste del Kwh producido en esta planta, si atendemos a los gastos expuestos en el punto anterior, será el resultado de dividir el total de gastos anuales (581.187,31€) entre los Kwh producidos anualmente (19.680.000Kwh), lo que proporciona como resultado un coste de 0,02953€/kwh.

Si descontamos el valor de la energía eléctrica destinada al autoconsumo de las instalaciones propias de la planta, tendremos una energía eléctrica total exportada a la red de 18.040.000Kwh, por lo que el coste del Kwh generado y exportado a la red sin contar amortizaciones será de 0,03221€/kwh.

---

### 4.2.4 ESTUDIO ECONÓMICO

---

En el apartado de anexos, se adjunta una simulación de la evolución económica de la explotación a 15 años en la que se incluye el cash flow a lo largo del tiempo. Se han tenido en cuenta los siguientes parámetros para su realización:

- No se considera ningún tipo de financiación bancaria con el fin de evaluar exclusivamente los parámetros del proyecto.
- Se considera una capacidad efectiva de la planta del 75% en el primer año, en posteriores años, del 100%.
- Se suponen 8.200h de trabajo al año.
- Se ha supuesto una cuota de mantenimiento anual de 581.187,31€.

Como datos más relevantes tras la realización del estudio económico, se deben destacar dos: Que el TIR del proyecto es de 15,4% y el periodo de retorno de la inversión inicial es de 5,7 años.

## CAPÍTULO 5: LÍNEAS DE FUTURO

---

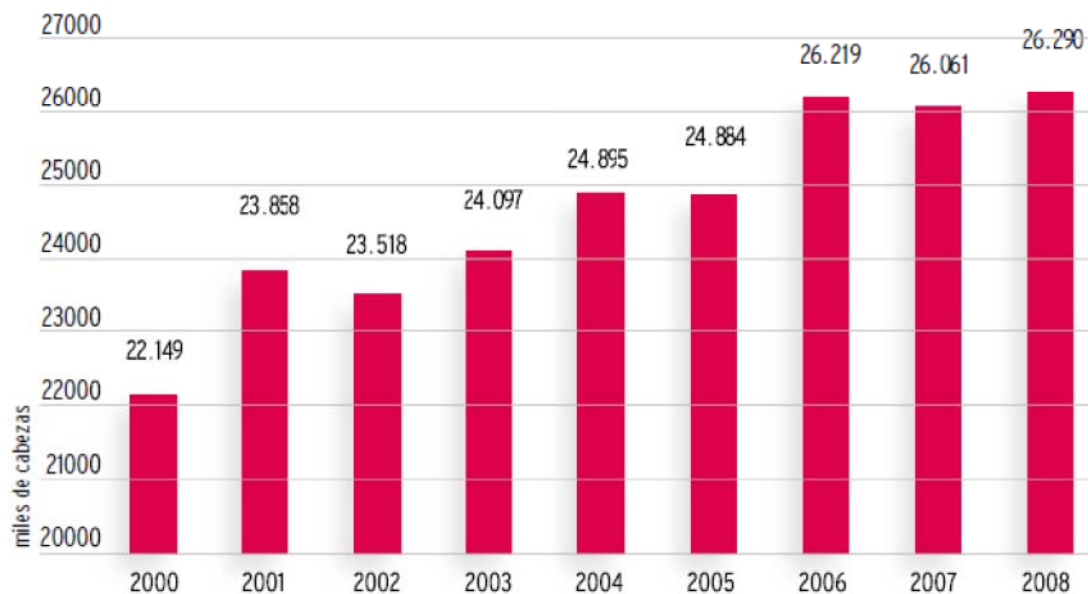
De acuerdo al borrador del Plan de Acción Nacional de Energías Renovables 2011-2020 (PANER), por el cual se pretende establecer una política energética a nivel Nacional, y el cada vez más importante Mercado de Emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y NO<sub>2</sub> cuyos cimientos se establecieron en el Protocolo de Kioto, este tipo de instalaciones serán muy consideradas de aquí en adelante.

Los principales motivos para tal afirmación son los expuestos a continuación:

- Captura del CH<sub>4</sub> que proviene de los desechos agroindustriales que de otra forma sería vertidos al medio ambiente sin ningún aprovechamiento energético.
- Producción de energía eléctrica Nacional, sin importar ningún tipo de combustible exterior, por lo que ayuda a suplir este déficit que posee España con respecto a la dependencia energética exterior.
- Producción de energía térmica, hasta ahora poco valorada pero que de acuerdo al PANER, su producción será tomada en cuenta por el ahorro que supone su implementación.
- Capacidad para cerrar un ciclo que hasta ahora podía crear problemas de contaminación de diferente índole y sin lograr aprovechamiento energético alguno.
- Revitalización del sector primario Español y aumento de su competitividad dentro del marco Europeo.
- Obtención de subproductos estabilizados y ecológicos con un amplio mercado "Bio" que se muestra incipiente en la actualidad pero con gran capacidad de expansión como sucede en otros países Europeos.

- Facilidad a la hora de la creación de Smart Grids o Redes Inteligentes con el fin de mejorar la eficiencia del sistema eléctrico/energético.

Antes de proseguir, sería interesante detenerse en la siguiente gráfica para dar una idea global del enorme potencial que se podría desarrollar si se implantaran este tipo de instalaciones en nuestro País. La mencionada gráfica, desarrollada en 2009 por la Coordinadora de Organizaciones de Agricultores y Ganaderos (COAG) muestra que en diciembre de 2008, el censo porcino en España sobrepasaba los 26.000.000 de cabezas, situándonos como el segundo País productor a nivel Europeo.



Este nivel productivo, junto con el contexto en el que se encuentra España en la actualidad y sus objetivos energéticos a medio plazo, determinan las grandes posibilidades de estos sistemas productores de energía y subproductos con etiqueta "Bio", si bien, no es menos cierto que dada la escasa aplicación de estas instalaciones, sobre todo las de gran potencia y capacidad, existente en España demuestra que el nivel de



estudio, investigación y desarrollo al que están expuestas es enorme con el fin de mejorar su rendimiento y eficiencia.

Tras el desarrollo del presente proyecto, y una vez expuestos los argumentos de implantación, tecnología aplicable y resultados obtenidos, me gustaría recalcar que si bien este tipo de instalaciones pueden poseer un elevado atractivo empresarial por los rendimientos económicos mostrados, creo que éstos se quedan en un segundo plano si son comparados con el beneficio ambiental, social y de aprovechamiento energético obtenidos.

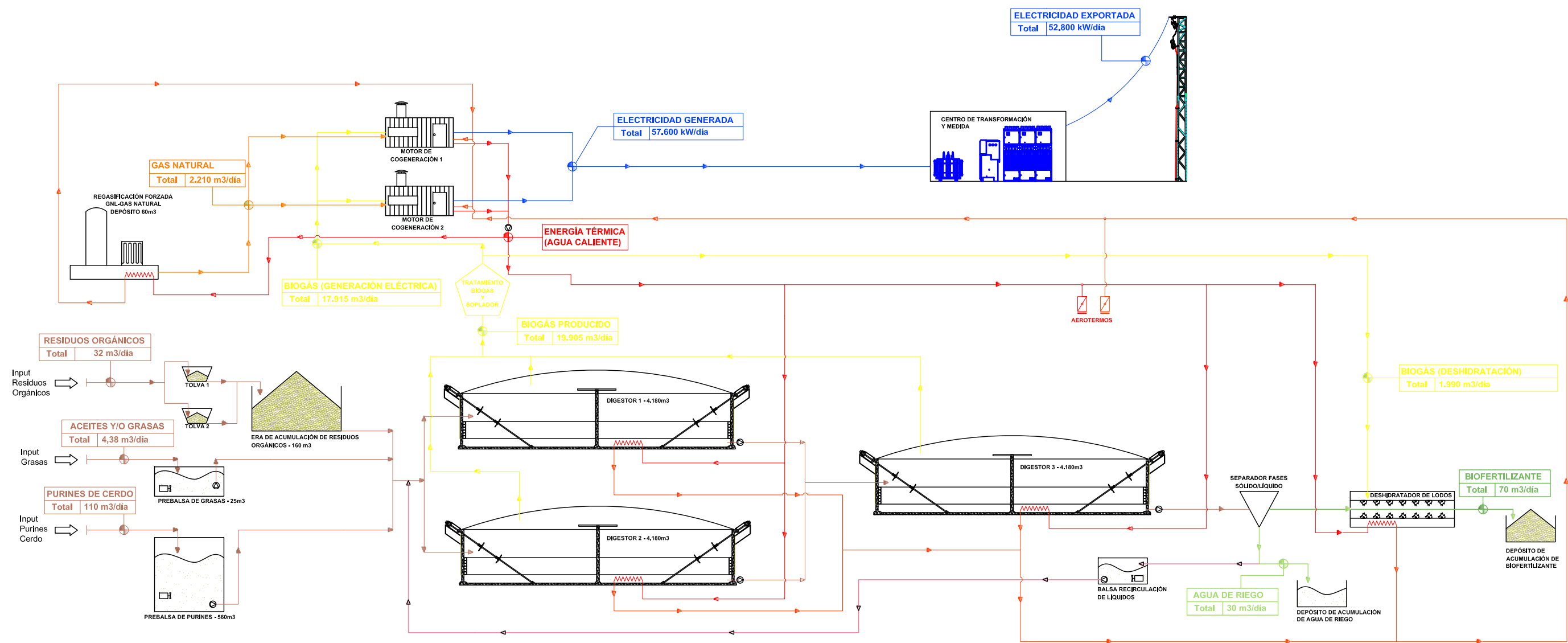
Por último, me gustaría señalar algunas líneas de investigación con objetivo de servir como una primera guía para mejorar la instalación expuesta en este proyecto y así facilitar su estudio y desarrollo a las personas que pudieran mostrar su interés en el mismo:


- Optimización de la digestión anaerobia mediante la codigestión de diferentes residuos procedentes del sector primario.
- Aplicación de digestores denominados de tercera generación (véase anexo correspondiente) del tipo Reactor EGSB (Expanded Granular Sludge Bed) con los cuales se aumenta el rendimiento de producción de  $\text{CH}_4$ .
- Creación de biocombustible para vehículos a partir del  $\text{CH}_4$  producido.
- Aplicaciones de la energía térmica producida para calefacción de instalaciones ganaderas cercanas.
- Mejora del secado del material digerido para fines agrícolas.

- Creación de células (Smart Grids o Redes Inteligentes) de instalaciones agroalimentarias con el objetivo de mejorar la logística/suministro de la materia orgánica entrante y de los subproductos obtenidos (biofertilizante, biocombustible, energía térmica, energía eléctrica).

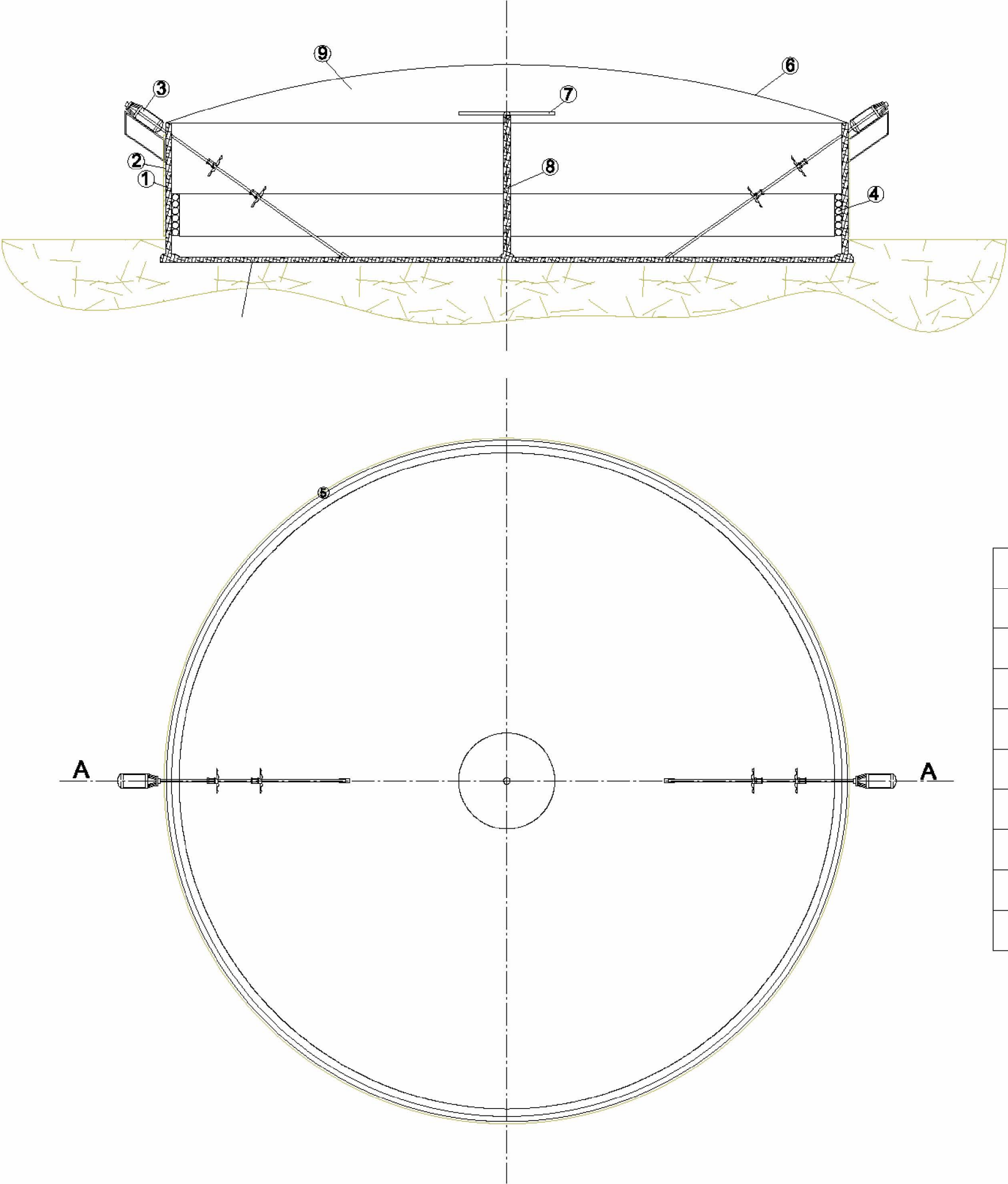
## CAPÍTULO 6: PLANOS

---



	<b>TÍTULO</b> <b>DIAGRAMA DE FLUJO DE TRABAJO Y PROCESOS</b>	
<b>Nº PLANO</b> <b>1</b>	<b>PROYECTO</b> <b>PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y VALORIZACIÓN DE PURINES</b>	<b>ESCALA</b> <b>N/A</b>

SECCIÓN A-A

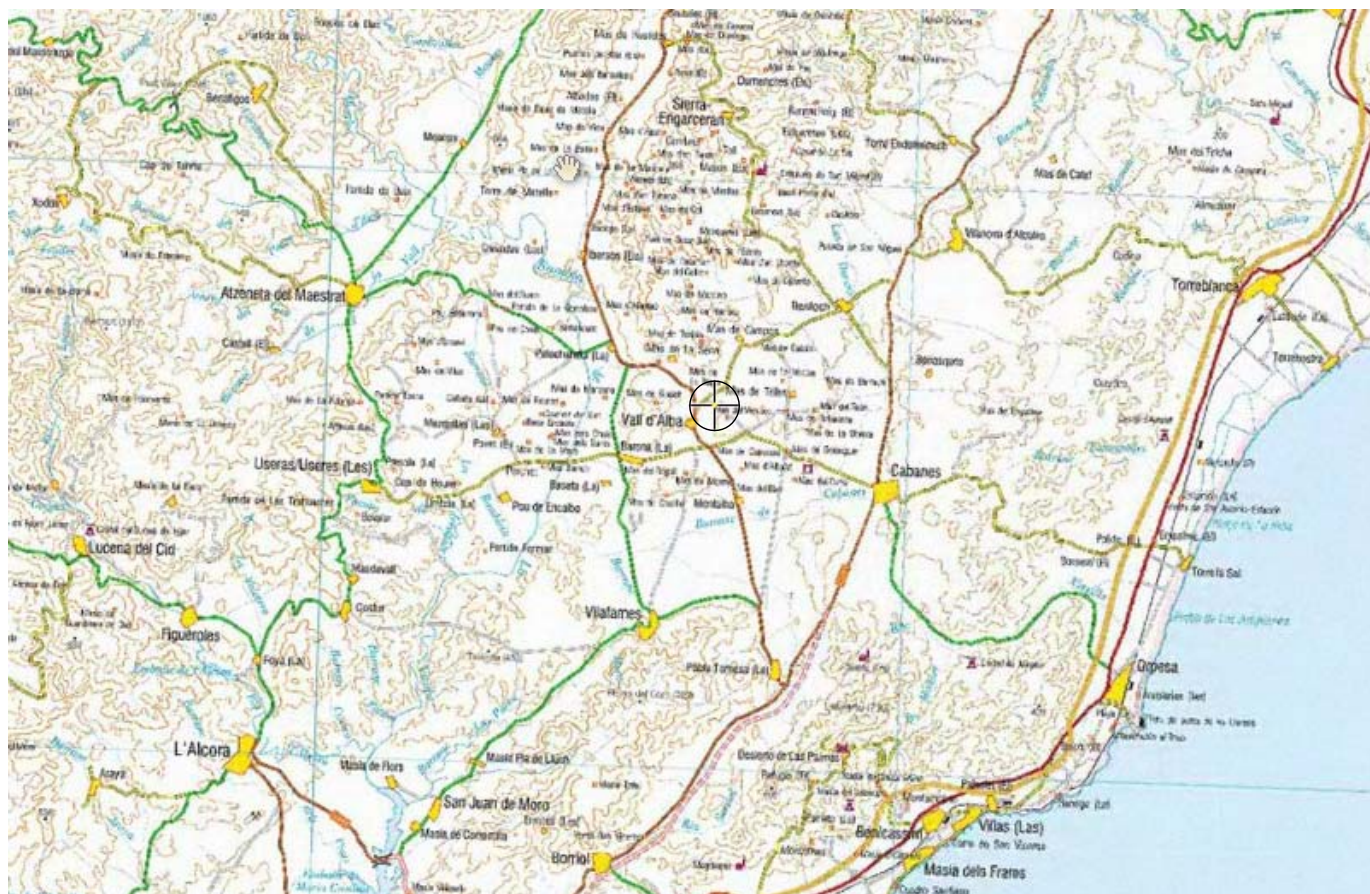



	LEYENDA DE COMPONENTES
1	MURO HORMIGÓN ARMADO HA35/B/20/IIa/Qb SR + BST 500
2	AISLANTE: PANELES DE FIBRA DE VIDRIO REFORZADO
3	AGITADORES MECÁNICOS
4	INTERCAMBIADORES DE CALOR TUBULARES
5	SOLERA Y ZAPATAS
6	CUBIERTA EPDM
7	ESTRUCTURA DE MADERA
8	PILAR CENTRAL
9	GASÓMETRO PARA ACUMULACIÓN DE BIOGÁS

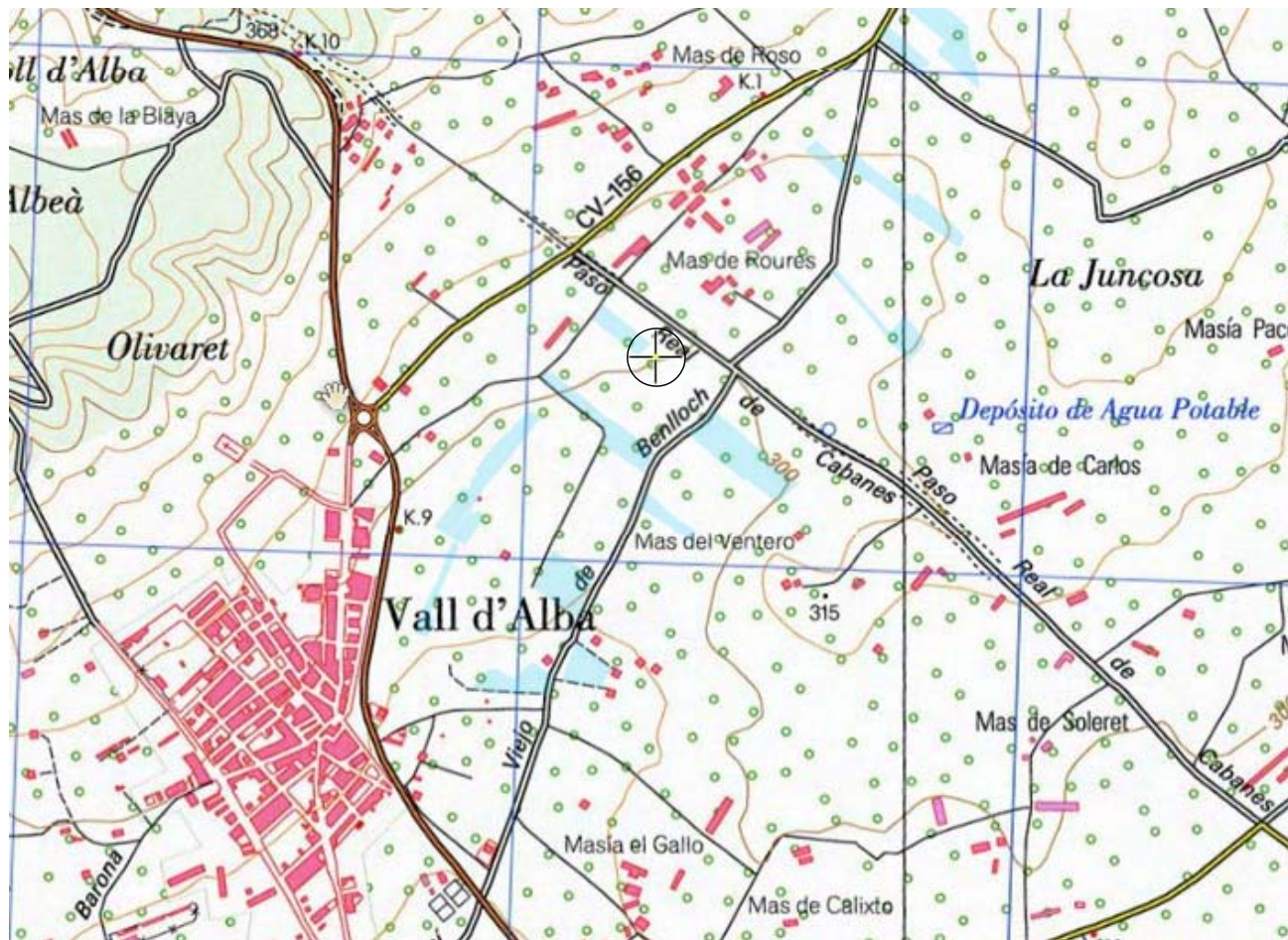



TITULO		
SECCIÓN DESCRIPTIVA DE LOS DIGESTORES		
Nº PLANO	PROYECTO	ESCALA
2	PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y VALORIZACIÓN DE PURINES	N/A






	<b>TÍTULO</b> <b>LOCALIZACIÓN</b>	
	<b>PROYECTO</b> <b>PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y</b> <b>VALORIZACIÓN DE PURINES</b>	<b>ESCALA</b> <b>1/250.000</b>
<b>Nº PLANO</b> <b>3</b>		

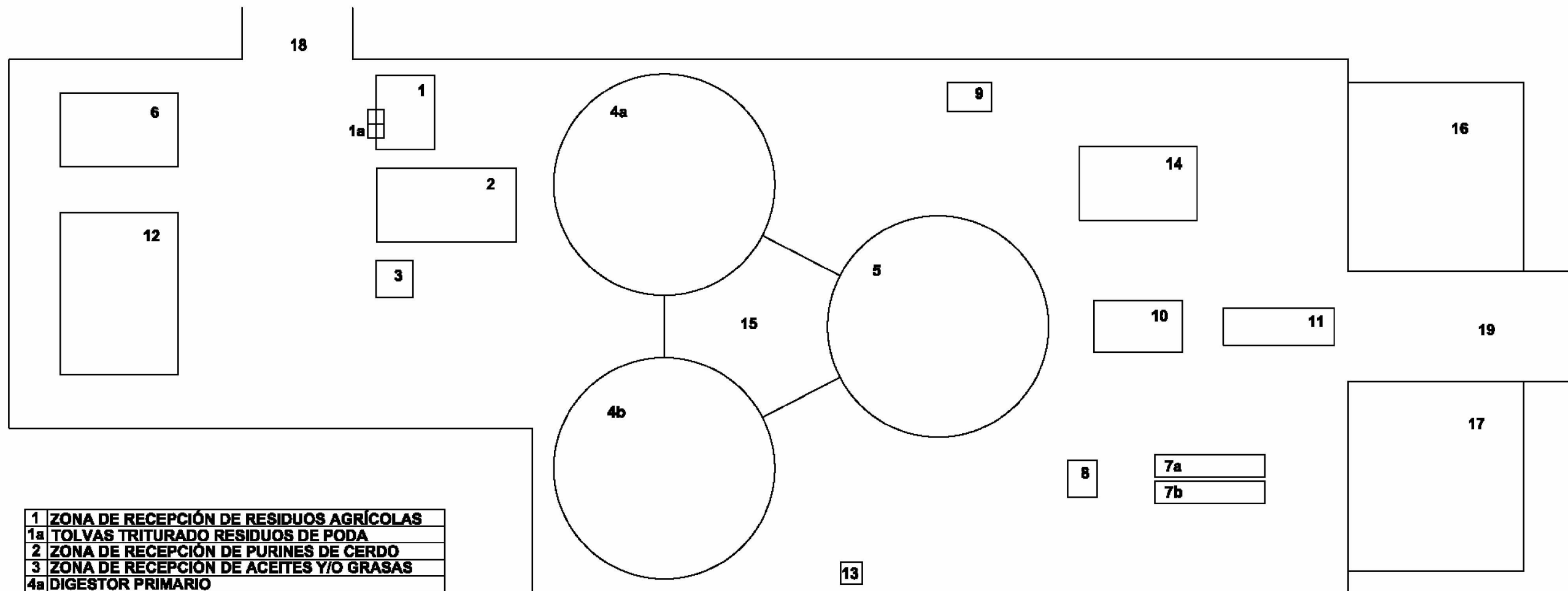


	<b>TÍTULO</b> <b>LOCALIZACIÓN</b>	
<b>Nº PLANO</b> <b>4</b>	<b>PROYECTO</b> <b>PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y</b> <b>VALORIZACIÓN DE PURINES</b>	<b>ESCALA</b> <b>1/5.000</b>






	<b>TÍTULO</b> <b>LOCALIZACIÓN</b>	
	<b>PROYECTO</b> <b>PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y VALORIZACIÓN DE PURINES</b>	<b>ESCALA</b> <b>1/2.000</b>
<b>Nº PLANO</b> <b>5</b>		



1	ZONA DE RECEPCIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS
1a	TOLVAS TRITURADO RESIDUOS DE PODA
2	ZONA DE RECEPCIÓN DE PURINES DE CERDO
3	ZONA DE RECEPCIÓN DE ACEITES Y/O GRASAS
4a	DIGESTOR PRIMARIO
4b	DIGESTOR PRIMARIO
5	DIGESTOR SECUNDARIO
6	PLANTA REGASIFICADORA GNL
7a	MOTOR DE COGENERACIÓN 1
7b	MOTOR DE COGENERACIÓN 2
8	TRATAMIENTO DEPURACIÓN BIOGÁS
9	CENTRO DE MEDIDA Y TRANSFORMACIÓN
10	SEPARADOR FASES SÓLIDO/LÍQUIDO
11	DESHIDRATACIÓN TÉRMICA DE LODOS
12	CASA DE CONTROL/OFICINAS
13	ANTORCHA
14	BALSA DE RECIRCULACIÓN
15	CASETA CONTROL DIGESTORES
16	ZONA DE ALMACENAMIENTO DE BIOFERTILIZANTE
17	ZONA DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DE RIEGO
18	ZONA DE ENTRADA DE RESIDUOS ORGÁNICOS
19	ZONA DE SALIDA DE SUBPRODUCTOS DIGERIDOS

 <b>Nº PLANO</b> <b>6</b>	<b>TÍTULO</b> <b>DISTRIBUCIÓN EN PLANTA</b>	
	<b>PROYECTO</b> <b>PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y VALORIZACIÓN DE PURINES</b>	<b>ESCALA</b> <b>N/A</b>

## CAPÍTULO 7: ANEXOS

---



## ANEXO A: EVOLUCIÓN HISTÓRICA Y TIPOLOGÍA DE DIGESTORES

---

---

## A.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA

---

Tras la crisis energética del año 1973, las investigaciones sobre la depuración de aguas residuales han pasado gradualmente de los procesos tradicionales aerobios y físico-químicos a los procesos anaerobios. Como consecuencia de la mencionada crisis, la mayoría de los países Europeos se dio cuenta de su dependencia casi total de las fuentes energéticas exteriores y se optó por investigar y desarrollar nuevas fuentes de energías renovables.

La mayoría de investigaciones en el campo anaerobio se refieren al control de la contaminación del medio ambiente, pero a mediados de la década de los 80, la Comisión de las Comunidades Europeas, se decidió a financiar una serie de proyectos sobre la producción de metano a partir de biomasa de desecho o a partir de cosechas energéticas aprovechando los excedentes agrícolas de la Comunidad Europea en aquellos momentos.

Esta idea no resultaba nueva, ya que se basaba en la fermentación anaerobia descubierta varios siglos atrás por Volta (año 1776). La primera instalación de producción de Biogás se llevó a cabo en Bombay (India) en el año 1859. Ya en el año 1884, el químico francés Pasteur y su alumno Gayon realizaron las primeras investigaciones para conseguir biogás a partir de la fermentación de estiércol animal y en el año 1868 el biólogo también francés Antoine Bechamp definió las reacciones constituyentes del proceso microbiológico.

Los citados avances motivaron su aplicación a gran escala, y ya en el año 1890 el inglés Donald Cameron diseñó una gran fosa séptica con el fin de alimentar con el gas producido la iluminación de la ciudad de Exeter (Inglaterra). En el año 1920 se instaló el primer biodigestor para la obtención de biogás por parte del ingeniero alemán Karl Imhoff, y en otros países como Inglaterra, Francia y la propia Alemania, asociaciones de ganaderos y agricultores construyeron biodigestores con el fin de producir biogás para asegurarse el suministro de combustible para sus tractores durante la segunda guerra mundial.

El gran auge que vivió la producción de biogás durante la primera mitad del siglo XX se vio frenado en seco debido al boom petrolífero iniciado a finales de la década de los 50, ya que los países vieron en el petróleo una forma más económica de obtención de energía.

Regresando a las proyectos iniciados a mediados de la década de los 80, el objetivo de este nuevo resurgir de la producción de biogás era su contribución al balance energético Europeo, ya que podría ser apreciable, aunque no esencial, pues permitiría el ahorro de unos cuantos millones de toneladas de petróleo al año, sin llegar en ningún caso a modificar sustancialmente la dependencia energética existente en nuestro continente.

En los albores de la década de los 90, fruto de la citada investigación y financiación, podíamos encontrar en Europa alrededor de 1000 plantas anaerobias a escala industrial, con un volumen total estimado de 750.000 m<sup>3</sup> de digestores, lo que supuso un equivalente energético en petróleo de alrededor de 90.000 toneladas por año.

Según el Profesor E.J Nyns de la Universidad Católica de Louvain-la-Neuve (Bélgica), los resultados citados en el párrafo anterior, pese a ser una producción energética despreciable frente al consumo de petróleo de los Países Europeos, aventuró que en un futuro podría considerarse a la digestión anaerobia como económicamente conveniente, más si cabe contando con el beneficio adicional debido a la descontaminación ambiental, aventurando un adecuado uso para resolver los problemas sociales y ecológicos que originan los vertederos de residuos con un aprovechamiento energético.

Ya en nuestros días, vemos como el paso del tiempo ha dado la razón a las predicciones de Nyns realizadas 20 años atrás. En todos los países Europeos se aprovechan los desechos orgánicos y cultivos energéticos para la producción de biogás. En el año 2006 se produjeron 5,3 millones de toneladas equivalentes de petróleo en los más de 5000 biodigestores instalados por toda Europa y arrancaron numerosos proyectos a investigar este tipo de instalaciones, destacando llamado Proyecto Agrobiogás desarrollado en Aarhus (Dinamarca).

En la actualidad, en países como Alemania, tras la aplicación de incentivos a estos tipos de instalaciones, no existe ninguna instalación agropecuaria donde no se aprovechen los desechos orgánicos para la producción de biogás y la posterior generación de energía eléctrica. En el año 2008, Alemania poseía más de 2500 plantas de biogás y se inauguró en Jameln la primera gasolinera de biogás para uso en vehículos adaptados a este combustible. Dentro de Europa, Holanda y Dinamarca son los que marcan la pauta en la investigación de este tipo de plantas.

En el resto del mundo, su aplicación e investigación también ha sufrido un gran auge. En países como India, más de un millón de personas lo utilizan como combustible doméstico; en China el 70% del combustible para uso doméstico en zonas rurales proviene de la codigestión en biodigestores de paja y restos de cultivos; en el continente Americano se están desarrollando actualmente proyectos de diseño y construcción de grandes plantas de biogás (en el año 2005 se inauguró en Nicaragua una planta para la producción de 2,5 MW de energía a partir de vinazas procedentes de la empresa fabricante de ron CLNSA y el pasado año se terminó el proyecto de una instalación capaz de generar 5 MW a partir del forraje de maíz en Chile). Recientemente, en Japón, han conseguido un proceso capaz de fermentar, además del metano, el hidrógeno, lo que aumenta la variedad de residuos para la obtención de biogás.

Con respecto a España, la implantación es menor respecto al resto de Europa. En el campo de las aguas residuales existe en industrias azucareras o cerveceras. Han empezado a ponerse en funcionamiento diversas plantas piloto y las primeras plantas a escala industrial están empezando a ser una realidad. La Asociación Española de Biogás (AEBIG) se muestra esperanzada con el futuro del biogás procedente de la digestión de residuos agrícolas y ganaderos en nuestro país como se muestra en el siguiente artículo publicado recientemente:



*"Hoy sabemos que el potencial de generación de energía eléctrica del biogás de digestor en España, se eleva a la nada despreciable cantidad de 5,2 Millones de MW/h, sí se empleasen los residuos agrícolas y ganaderos accesibles y disponibles en el país (Fuente "PSE Probiogás", AINIA 2009). Ello sin contar las posibilidades de generación de energía térmica, equivalente a la ya reflejada para la energía eléctrica."*

---

## A.2 TIPOLOGÍA DE DIGESTORES ANAEROBIOS

---

En la actualidad hay, a nivel mundial, decenas o cientos de tipos de reactores o biodigestores anaerobios ya en uso o que se están estudiando con intensidad a escala de laboratorio. Existen diferentes maneras de clasificar los reactores anaerobios que procesan distintos tipos de materia orgánica. En el presente proyecto, me centraré en dos posibles clasificaciones:

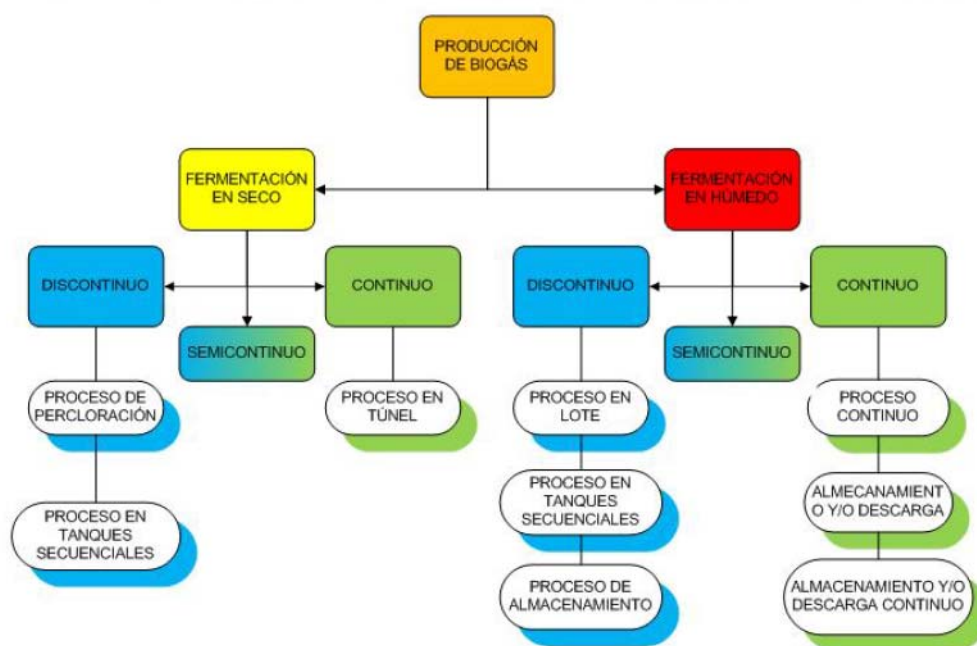
- De acuerdo a su régimen de trabajo
- De acuerdo a su generación

### A.2.1 CLASIFICACIÓN DE DIGESTORES ANAEROBIOS DE ACUERDO A SU RÉGIMEN DE TRABAJO

---

Una primera clasificación de los biodigestores para la producción de biogás se llevaría a cabo de acuerdo a su modo de operación, llenado y vaciado, como podemos ver en el siguiente esquema.





Según esta clasificación, la primera diferenciación proviene de acuerdo al tipo de fermentación: seca o húmeda. Dados los tipos de residuos con los que se trabaja en el marco de este proyecto (excretas animales, aguas residuales), el tipo de fermentación a considerar será de carácter húmedo, ya que los residuos poseen un elevado porcentaje de humedad. Gracias a la fermentación húmeda conseguimos facilitar la liberación del biogás durante el proceso.

La fermentación en seco quedaría reservada para otros tipos de residuos con concentraciones de sólidos totales mucho mayores ( $> 30\%$ ). Cabe resaltar que la digestión anaerobia en seco requiere siempre de un medio acuoso para llevarse a cabo y que el volumen relativo de estos digestores suele ser menor debido a la alta densidad de la materia orgánica a tratar.

Si bajamos un nivel en el esquema anterior, nos encontramos dos posibilidades de régimen de trabajo y una tercera que resulta de la combinación de las dos primeras:

- En régimen continuo
- En régimen discontinuo
- En régimen semicontinuo

#### A.2.1.1 DIGESTORES ANAEROBIOS EN RÉGIMEN CONTINUO

---

Inicialmente, este tipo de digestor se desarrolló principalmente para el tratamiento de aguas residuales y en la actualidad su uso se ha extendido para su carga con todo tipo de sustratos. Este tipo de digestores son los utilizados para la producción de biogás. Existen numerosos subtipos, pero de forma general, podríamos decir que se trata de un digestor de gran tamaño, alimentado de forma continua mediante un proceso automático y con una producción constante de biogás y fertilizante. Las plantas de producción de biogás con digestores continuos son fácilmente automatizables.

Gracias al trabajo en régimen continuo, somos capaces de controlar la digestión con el grado de precisión deseado y detectar y corregir cualquier anomalía detectada rápidamente. Tenemos que efectuar una puesta en marcha del digestor previa a su utilización de modo continuado, tarea que solo repetiremos cuando por algún motivo de mantenimiento tengamos que vaciar el digestor.

Como principal desventaja de este tipo de sistemas, podemos citar que requieren de unas concentraciones muy bajas de sólidos, su diseño no es apropiado para el tratamiento de materiales fibrosos ni para materia orgánica cuyo peso específico sea menor que la del agua.

### A.2.1.2 DIGESTORES ANAEROBIOS EN RÉGIMEN DISCONTINUO

---

También llamados digestores de lote o batch, son aquellos en los que la materia orgánica a digerir se carga de forma total o a intervalos separados en el tiempo y la descarga se efectúa cuando la materia orgánica se ha descompuesto hasta el punto en que la producción de biogás se detiene, por lo tanto no consideramos como parámetro el tiempo de retención. Normalmente consisten en tanques herméticos con una salida de gas conectada a un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás.

Este sistema es aplicable cuando la materia a procesar está disponible en forma intermitente. Su carga y descarga requieren un considerable esfuerzo, por lo que queda reducido a usos no industriales. En este tipo de sistemas se puede usar una batería de digestores que se cargan a diferentes tiempos para que la producción de biogás sea constante. Este tipo de digestor es muy usado a nivel de laboratorio si se desean evaluar los parámetros del proceso o el comportamiento de un residuo orgánico o una mezcla de ellos.

### A.2.1.3 DIGESTORES ANAEROBIOS EN RÉGIMEN SEMICONTÍNUO

---

Si aumentamos la capacidad y el período de carga de los digestores en régimen discontinuo, llegamos a los digestores considerados como de régimen semicontinuo. Los podríamos definir como aquellos en los que la carga se realiza una vez al día con volúmenes de mezcla que dependen del tiempo de retención. Producen, por tanto, una cantidad de biogás y fertilizante constante durante el período, pero por su tamaño y producción, quedan restringidos a un uso doméstico.

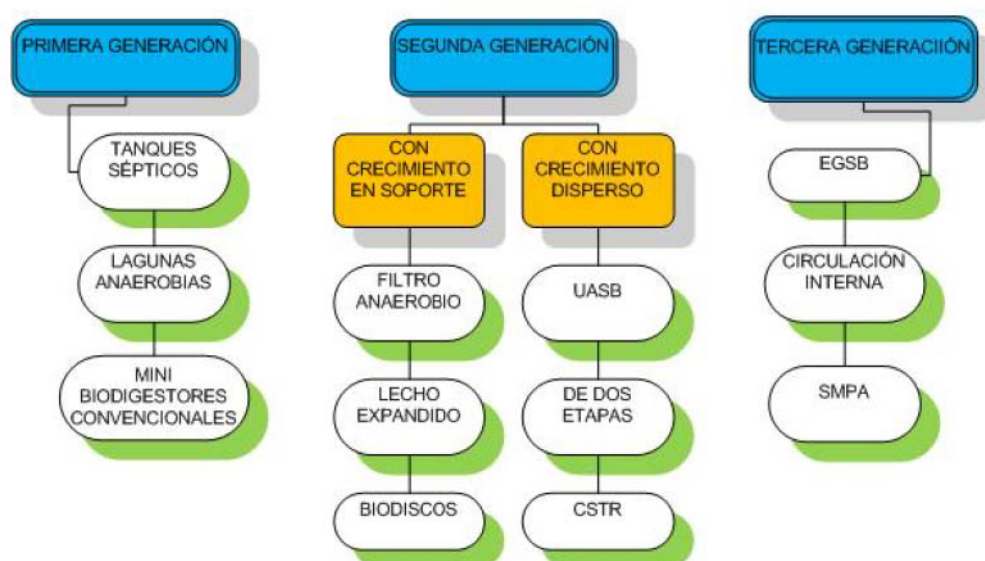
## A.2.2 CLASIFICACIÓN DE DIGESTORES ANAEROBIOS DE ACUERDO A SU GENERACIÓN

Consideraremos las tres generaciones de reactores. En los reactores de primera generación, el tiempo de retención hidráulico es igual al tiempo de retención de sólidos. En los de segunda generación, el tiempo de retención de sólidos es mayor que el tiempo de retención hidráulico y como consecuencia, el proceso es mucho más eficiente.

Los biodigestores de tercera generación están basados en modificaciones del UASB (upflow anaerobic sludge blanket) para permitir aumentar la velocidad de carga orgánica y/o su aplicabilidad. Los dos más destacados son el EGSB (expanded granular sludge bed) y el IC (internal circulation). Los dos consiguen unos tiempos de retención hidráulica muy inferiores a sus predecesores.

Veamos los principales digestores según su generación. Para ello nos serviremos de la siguiente tabla:

### CLASIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES TIPOS DE DIGESTORES





### A.2.2.1 DIGESTORES DE PRIMERA GENERACIÓN

---

Como se ha comentado antes, en los reactores de primera generación, el tiempo de retención hidráulico es igual al tiempo de retención de sólidos. Veamos una descripción de los principales digestores de esta primera generación.

#### Tanques sépticos:

Se trata de un foso revestido de cemento, ladrillo, etc., que se construye enterrado y consta de uno o dos compartimentos al que se descargan las aguas negras de origen doméstico. Tras ellos el efluente líquido se distribuye por un campo de filtración.

#### Mini biodigestores:

Las plantas constan de un pequeño digestor enterrado, con conexiones de entrada y salida para la materia a digerir y una tubería en la parte superior para la salida y recolección del gas. De acuerdo con su diseño, pueden agruparse en tres categorías:

- Con cúpula fija
- De campana flotante
- De planta balón

#### Lagunas anaerobias:

Las lagunas anaerobias son las más pequeñas dentro del sistema de tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización y corresponden a la primera fase de estos sistemas. Por lo general tienen una profundidad entre 2.00 y 5.00 metros y reciben cargas orgánicas volumétricas mayores a 100 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup> d. Estas altas cargas orgánicas producen condiciones anaerobias estrictas (oxígeno disuelto ausente) en todo el volumen de la laguna.



Las lagunas anaeróbicas funcionan de modo similar a los tanques sépticos abiertos y trabajan en forma óptima en los climas calientes, tropicales y subtropicales, dado que la intensidad del brillo solar y la temperatura ambiente son factores clave para la eficiencia en los procesos de degradación y estabilización.

Uno de los problemas que generan estas lagunas son los olores que emanan de ellas. Los diseñadores siempre han mostrado preocupación por este tema. No obstante, los problemas de olor pueden minimizarse con un diseño adecuado de las unidades, siempre y cuando la concentración de  $\text{SO}_4^{2-}$  en el agua residual sea menor a 500 mg/l.

#### A.2.2.2 DIGESTORES DE SEGUNDA GENERACIÓN

---

Los reactores de segunda generación se basan en tres aspectos fundamentales:

1 Acumulación dentro del reactor de la biomasa por sedimentación, unión a partículas sólidas (fijas o móviles) o recirculación. Tales sistemas permiten retener a microorganismos que crecen muy lentamente, asegurando que el tiempo de retención de sólidos sea mucho mayor que el tiempo de retención hidráulico.

2 Mejora del contacto entre la biomasa y el agua residual, solucionando los problemas de difusión de sustratos o productos entre el líquido y la biopelícula.

3 Mejora de la actividad de la biomasa mediante adaptación y crecimiento.

Veamos ahora una breve descripción de los sistemas de segunda generación más extendidos. Los podemos organizar en dos grandes grupos, según si la biomasa está unida a algún tipo de soporte fijo o se encuentra inmovilizada en, o alrededor de, partículas o superficies inertes formando

biopelículas, o bien en los que los microorganismos crecen de forma dispersa en el reactor formando gránulos o flóculos. Las bacterias que crecen en suspensión deben de formar estructuras que las permitan permanecer en el reactor y no ser lavadas con el efluente, y la eficiencia del proceso depende en buena parte de la capacidad del inóculo (lodos/residuos) para formarlas.

#### De filtro anaerobio:

Este proceso fue desarrollado inicialmente en Estados Unidos. La biomasa se encuentra unida a un medio inerte o atrapada en él formando biopelículas. El afluente atraviesa el reactor con flujo vertical, bien ascendente o descendente. El tamaño de dichas partículas es relativamente grande y su tasa de colonización por parte de las bacterias depende de la rugosidad, porosidad, tamaño de poro, etc.

Su campo de aplicación, así como las características de aguas residuales a tratar son similares al de los UASB. Los filtros con flujo descendente no pueden usarse para tratar vertidos con fracciones apreciables de sólidos en suspensión ya que en esta configuración de proceso, no se permite la acumulación de los mismos en el reactor.

#### De lecho expandido:

Este tipo de reactor es una estructura cilíndrica, empaquetada hasta un 10% del volumen del reactor con un soporte inerte de pequeño tamaño lo que permite la acumulación de elevadas concentraciones de biomasa que forman películas alrededor de dichas partículas. La expansión del lecho tiene lugar gracias al flujo vertical generado por un elevado grado de recirculación. La velocidad ascensional es tal que el lecho se expande hasta un punto en el que la fuerza gravitacional de descenso es igual a la de fricción por arrastre.

### De biodiscos:

En los RBC los microorganismos están unidos a un soporte ligero formando una película. El soporte, constituido por una serie de discos paralelos, se encuentra casi totalmente sumergido y gira lentamente sobre un eje horizontal dentro del tanque cerrado por el que fluye el medio a tratar.

### UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket):

Este tipo de digester fue desarrollado en 1971 en Holanda. Han sido utilizados ampliamente en Europa y en Latino América.

Estos digestores operan en régimen continuo y en flujo ascendente, es decir, el afluente es bombeado hacia el sistema de distribución interno, entrando en contacto con la cama de lodo anaeróbico. Cada ramal tiene aperturas a través de las cuales fluye el afluente. Estos recorren todo el fondo del reactor. La reducción del DQO provoca la expansión/fluidización de la cama de lodo que es elevada por la velocidad ascendente producto de la generación de biogás (mezcla de gases entre el  $\text{CO}_2$  de la respiración anaeróbica de las bacterias y el metano producto de la combustión y degradación del DQO) y la velocidad del líquido. Cuando el gránulo libera el biogás adherido a su superficie, el lodo vuelve a caer a la zona inferior del reactor, el biogás es colectado en las cámaras para tal fin, y el agua residual tratada abandona el reactor por rebose. Esta dinámica ocurre continuamente dentro del reactor. El biogás generado da lugar a una agitación interior que interviene en la formación y mantenimiento de los gránulos, removiendo la cama de lodos y permitiendo el intercambio de estos con el agua residual. El elemento en donde se separan biogás, agua residual tratada y lodo es llamado separador trifásico. Este consta de varias cámaras separadas por deflectores, en las que el gas es recolectado.

La innovación técnica de este tipo de reactores reside en un dispositivo situado en la parte superior del reactor (separador trifásico mencionado anteriormente) que permite acumular grandes cantidades de



biomasa muy activa que adopta la estructura de gránulos compactos con una elevada capacidad de sedimentación.

El problema principal de este tipo de digestores es la correcta simulación y estudio de los mecanismos que rigen la aglomeración de los microorganismos, ya que son los causantes de la desaglomeración, provocando que la planta no trabaje adecuadamente.

#### De dos etapas:

Estos sistemas consisten en un primer reactor con un elevado tiempo de retención en el que se favorece la hidrólisis, seguido de un reactor de bajo tiempo de retención que digiere la materia orgánica disuelta y los ácidos producidos durante la primera etapa. Si la primera etapa corresponde a un reactor discontinuo, el líquido tratado en la segunda es el obtenido por percloración en la primera una vez recirculado el efluente de la segunda.

Este sistema permite mantener fácilmente la temperatura en el reactor discontinuo, controlando la temperatura del efluente del segundo reactor. Esta especialmente indicado para procesos de digestión en los que la etapa limitante sea la hidrólisis.

#### CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor):

Fueron desarrollados para la estabilización de lodos de aguas residuales urbanas y sucesivamente aplicados para tratar estiércoles y otros vertidos agrícolas o agro-industriales con alto porcentaje de sólidos totales, con el fin de lograr un mayor contacto entre la biomasa microbiana y el sustrato en cuestión.

Son reactores relativamente sencillos pero en los que tenemos que prestar mucha atención al complejo sistema de mezclado, por agitadores, durante su construcción y mantenimiento. Al estar la materia orgánica a

digerir completamente mezclada, presentan unos tiempos de retención hidráulica en torno a los 10-35 días.

La principal desventaja de estos digestores la constituyen las bajas velocidades de carga con que pueden ser operados y los relativamente altos tiempos de retención hidráulica requeridos.

Suelen ser contruidos con hormigón armado, acero o acero esmaltado, lo que les permite trabajar tanto en rango mesofílico como en termofílico. Los cambiadores de calor pueden ser internos o externos, siendo los primeros más fáciles de mantener pero precisan de una bomba extra para la recirculación de lodos. Los segundos son más utilizados a pequeña escala.

Poseen un elevado rendimiento de producción de metano, hecho que les sitúa como los más extendidos en plantas de producción de biogás en Europa.

#### A.2.2.3 DIGESTORES DE TERCERA GENERACIÓN

---

Están basados en modificaciones del UASB para permitir aumentar la velocidad de carga orgánica y/o su aplicabilidad. Los dos más destacados son el EGSB (expanded granular sludge bed) y el IC (internal circulation). Veamos sus principales características operativas.

##### Reactor IC (Internal Circulation):

El concepto del IC está basado en la tecnología del UASB, con dos etapas de separadores trifásicos. Estos son de una mayor relación entre altura y diámetro. En efecto, el IC consiste en dos compartimentos tipo UASB colocados uno sobre el otro (el inferior es altamente cargado, mientras que el superior es poco cargado de materia orgánica).



En el IC el afluente es bombeado hacia el sistema de distribución interno, donde el lodo recirculado y parte del efluente son mezclados para lograr la dilución directa y acondicionamiento del afluente. La primera etapa contiene un manto concentrado y expandido de lodo granular, donde la mayor parte del DQO es convertido en biogás. Esto provoca la expansión/fluidización de la cama de lodo que es elevada por la velocidad ascendente producto de la mezcla del afluente, recirculación interna y flujo de biogás. El contacto efectivo que se realiza entre el agua residual y la biomasa produce un lodo muy activo, que como consecuencia tiene la capacidad de tratar altas cargas orgánicas con altas tasas de conversión. El biogás producido en esta primera etapa es atrapado en los colectores de gas inferiores y es empleado para promover el ascenso del agua residual tratada y el lodo a través la tubería ascendente hacia el tanque desgasificador en el tope del reactor. Aquí, el biogás es finalmente separado y enviado al sistema de manejo de gas.

La mezcla de agua tratada y lodo baja directamente al fondo del reactor por la tubería descendente. Esto resulta en la recirculación interna. Mientras mayor sea el DQO alimentado al reactor, mayor será la recirculación interna, por lo que el DQO biodegradable en el fondo del reactor se mantiene prácticamente constante. El efluente de la primera etapa es pulido en la segunda, donde el DQO remanente es removido. El biogás producido en la segunda etapa es atrapado por los colectores superiores, mientras que el efluente tratado abandona el reactor por rebose. Mediante la remoción del biogás generado en la primera etapa, la turbulencia es minimizada en la segunda etapa. De esta forma se logra una eficiente separación de los gránulos de lodo en el colector de gas del tope del reactor.

### Reactor EGSB (Expanded Granular Sludge Bed):

El reactor EGSB nace de una serie de modificaciones realizadas a los reactores UASB con el fin de mejorar el contacto entre el afluente a tratar y la biomasa. Para ello se utilizan velocidades ascensoriales de 4 a 10 m/h, a diferencia del reactor UASB, en el cual no se suele sobrepasar la velocidad de 1 m/h. De esta forma se obtiene un lecho expandido agitado, a diferencia con el caso del reactor UASB, donde es principalmente estático, favoreciendo la capacidad para generar agregados de bacterias de alta densidad.

Este aumento de velocidad ascensorial se consigue mediante una fuerte recirculación, junto con una relación altura/diámetro más elevada que en los reactores UASB. La operación con elevadas relaciones de recirculación permite que estos sistemas sean adecuados para tratar compuestos inhibitorios, pero biodegradables, dado que se produce un efecto dilutorio a la entrada del reactor de manera que las concentraciones de los compuestos tóxicos sean lo suficientemente bajos para que no causen problemas a la biomasa.

## ANEXO B: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS MOTORES TÉRMICOS

---





[www.mwm.net](http://www.mwm.net)

# TCG 2020

1200 – 2000 kW<sub>el</sub> a 1500 min<sup>-1</sup> (50 Hz)

  
**MWM**  
Energy. Efficiency. Environment.



# Datos técnicos 50 Hz – Aplicaciones para gas natural

$\text{NO}_x \leq 500 \text{ mg / m}_n^3$ <sup>11</sup>

Índice mínimo de metano IM 80  
Colector de gases de escape seco

Tipo de motor		TCG 2020 V12	TCG 2020 V16	TCG 2020 V20
Potencia del motor <sup>2)</sup>	kW	1232	1605	2055
Revoluciones por minuto	min <sup>-1</sup>	1500	1500	1500
Presión media efectiva	bar	18,6	18,1	18,6
Temperatura de gases de escape	aprox. °C	419	425	424
Caudal húmedo de gases de escape	aprox. kg/h	6393	8422	10741
Caudal de aire de combustión <sup>2)</sup>	aprox. kg/h	6190	8156	10402
Temperatura de aire de combustión mínima/diseño	°C	20/25	20/25	20/25
Caudal de aire de ventilación <sup>3)</sup>	aprox. kg/h	28620	38236	49028

Parámetros del motor				
Diámetro/Carrera	mm	170/195	170/195	170/195
Cilindrada	dm <sup>3</sup>	53,1	70,8	88,5
Velocidad media del pistón	m/s	9,8	9,8	9,8
Volumen de aceite en circuito de lubricación <sup>4)</sup>	dm <sup>3</sup>	205	265	300
Consumo medio de aceite lubricante <sup>5)</sup>	g/kWh	0,20	0,20	0,20

Generador				
Rendimiento <sup>6)</sup>	%	97,4	97,2	97,3

Balance energético				
Potencia eléctrica en bornas <sup>6)</sup>	kW	1200	1560	2000
Calor del circuito de camisas HT	± 8 % kW	608	796	978
Calor del circuito de mezcla LT <sup>7)</sup>	± 8 % kW	98	129	172
Calor de gases de escape hasta 120 °C	± 8 % kW	587	788	1005
Radiación del motor	kW	40	52	70
Radiación del generador	kW	32	45	55
Consumo de combustible <sup>8)</sup>	+ 5 % kW	2744	3606	4581
Rendimiento eléctrico	%	43,7	43,3	43,7
Rendimiento térmico	%	43,5	43,9	43,3
Rendimiento total	%	87,2	87,2	87,0

Parámetros del sistema				
Caudal de refrigeración circuito HT mín./máx.	m <sup>3</sup> /h	36/56	50/65	60/85
Motor/Valor K <sub>VS</sub> <sup>9)</sup>	m <sup>3</sup> /h	42	46	66
Caudal de refrigeración circuito LT	m <sup>3</sup> /h	35	35	40
Refrigerador de la mezcla/valor K <sub>VS</sub> <sup>9)</sup>	m <sup>3</sup> /h	30	30	72
Capacidad del circuito HT de refrigeración de camisas	dm <sup>3</sup>	111	151	210
Capacidad del circuito de LT refrigeración de aftercooler	dm <sup>3</sup>	28	28	52
Temperatura de entrada/salida de circuito de refrigeración HT <sup>10)</sup>	°C	80/93	80/93	80/93
– con glicol <sup>10)</sup>	°C	(80/93)	(80/93)	(80/93)
Temperatura de entrada/salida de circuito de refrigeración LT <sup>10)</sup>	°C	38/40,5	40/43,3	38/41,8
Contrapresión de gases de escape mín./máx.	mbar	30/50	30/50	30/50
Máx. depresión de aspiración antes del filtro	mbar	5	5	5
Presión de suministro de gas como valor fijo, entre (oscilación de presión +/-10 %)	mbar	20...200	20...200	20...200
Batería de arranque, capacidad necesaria 24 V	Ah	430	430	430



# Datos técnicos 50 Hz – Aplicaciones para gas de clarificación, biogás y gas de vertederos

$\text{NO}_x \leq 500 \text{ mg/m}_n^3$ <sup>1)</sup>

Gas de clarificación (65 %  $\text{CH}_4$  / 35 %  $\text{CO}_2$ )

Biogás (60 %  $\text{CH}_4$  / 32 %  $\text{CO}_2$ , el resto  $\text{N}_2$ )

Gas de vertederos (50 %  $\text{CH}_4$  / 27 %  $\text{CO}_2$ , el resto  $\text{N}_2$ )

Valor calorífico mínimo  $H_u = 5,0 \text{ kWh/m}_n^3$

Colector de gases de escape seco

Tipo de motor		TCG 2020 V12	TCG 2020 V16	TCG 2020 V20
Potencia del motor <sup>2)</sup>	kW	1232	1605	2055
Revoluciones por minuto	min <sup>-1</sup>	1500	1500	1500
Presión media efectiva	bar	18,6	18,1	18,6
Temperatura de gases de escape	aprox. °C	445	448	447
Caudal húmedo de gases de escape	aprox. kg/h	6486	8500	10815
Caudal de aire de combustión <sup>2)</sup>	aprox. kg/h	5976	7830	9964
Temperatura de aire de combustión mínima/diseño	°C	20/25	20/25	20/25
Caudal de aire de ventilación <sup>3)</sup>	aprox. kg/h	28606	38157	48682

Generador				
Rendimiento <sup>6)</sup>	%	97,4	97,2	97,3

Balance energético				
Potencia eléctrica en bornas <sup>6)</sup>	kW	1200	1560	2000
Calor del circuito de camisas HT	± 8 % kW	658	866	1088
Calor del circuito de mezcla LT <sup>7)</sup>	± 8 % kW	92	127	159
Calor de gases de escape hasta 150 °C	± 8 % kW	593	787	994
Radiación del motor	kW	40	52	69
Radiación del generador	kW	32	45	55
Consumo de combustible <sup>8)</sup>	+ 5 % kW	2851	3745	4759
Rendimiento eléctrico	%	42,1	41,7	42,0
Rendimiento térmico	%	43,9	44,1	43,7
Rendimiento total	%	86,0	85,8	85,7

Parámetros del sistema				
Caudal de refrigeración circuito HT mín./máx.	m <sup>3</sup> /h	36/56	50/65	60/85
Motor/Valor $K_{VS}$ <sup>9)</sup>	m <sup>3</sup> /h	42	46	66
Caudal de refrigeración circuito LT	m <sup>3</sup> /h	35	35	40
Refrigerador de la mezcla/valor $K_{VS}$ <sup>9)</sup>	m <sup>3</sup> /h	30	30	72
Capacidad del circuito HT de refrigeración de camisas	dm <sup>3</sup>	111	151	210
Capacidad del circuito de LT refrigeración de aftercooler	dm <sup>3</sup>	28	28	52
Temperatura de entrada/salida de circuito de refrigeración HT <sup>10)</sup>	°C	80/93	80/93	80/93
– con glicol <sup>10)</sup>	°C	(80/93)	(80/93)	(80/93)
Temperatura de entrada/salida de circuito de refrigeración LT <sup>10)</sup>	°C	50/52,3	50/53,2	50/53,5
Contrapresión de gases de escape mín./máx.	mbar	30/50	30/50	30/50
Máx. depresión de aspiración antes del filtro	mbar	5	5	5
Presión de suministro de gas como valor fijo, entre [oscilación de presión +/- 10 %]	mbar	20...200	20...200	20...200
Batería de arranque, capacidad necesaria 24 V	Ah	430	430	430

1) Emisiones de gas de escape:

$\text{NO}_x < 0,50 \text{ g NO}_2/\text{m}_n^3$  gas de escape seco con 5% de  $\text{O}_2$

2) Potencia del motor y caudal de aire de combustión según ISO 3046/1

3) Caudal de aire de entrada con  $\Delta T = 15 \text{ K}$  incl. aire de combustión

4) Incl. tuberías e intercambiador de calor

5) Este valor es el valor medio de consumo de aceite entre los escalones de mantenimiento que incluyen E 60.

Además, se deben tener en cuenta las especificaciones de DPS TPI 1111-D-06-02 y TR 0199-99-2105.

6) A 50 Hz,  $U = 0,4 \text{ kV}$ ,  $\cos\phi = 1$ ; con una tensión media es posible que se produzca una reducción del rendimiento eléctrico

7) Con una temperatura del agua de entrada de 38 °C para V12 y V20; entrada de agua a 40 °C con V16 [50 °C con biogás]

8) Con una tolerancia de + 5%

9) El valor  $K_{VS}$  se define como el caudal que circula por el sistema de refrigeración cuando la presión diferencial es de 1 bar

10) Entrada/salida

Datos para gases especiales y operación con dos gases bajo solicitud.

Los valores incluidos en estas hojas de datos tienen carácter informativo, no representan valores garantizados. Serán vinculantes los datos de una oferta concreta.

Dimensiones 50 Hz Grupo		TCG 2020 V12	TCG 2020 V16	TCG 2020 V20
Largo	mm	5450	6170	8420
Ancho	mm	1870	1870	1960
Alto	mm	2500	2500	2620
Peso del grupo vacío	kg	9490	12810	18690

Emisiones de ruido* 50 Hz	Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Banda de frecuencia del sonido									
Tipo de motor TCG 2020 V12									
Ruido del gas de escape 120 dB (A)	dB (lin)	116	123	122	119	111	110	108	107
Ruido del motor 103 dB (A)	dB (lin)	102	96	97	96	97	96	95	98
Tipo de motor TCG 2020 V16									
Ruido del gas de escape 124 dB (A)	dB (lin)	145	136	125	113	107	104	107	100
Ruido del motor 111 dB (A)	dB (lin)	94	96	99	100	102	100	107	104
Tipo de motor TCG 2020 V20									
Ruido del gas de escape 123 dB (A)	dB (lin)	129	138	120	110	104	98	100	94
Ruido del motor 112 dB (A)	dB (lin)	95	109	104	104	104	102	106	107

Ruido del gas de escape en 1 m,  $\pm 45^\circ$ ,  $\pm 2,5$  dB (A)

Ruido del motor a 1 m lateral,  $\pm 1$  dB (A)

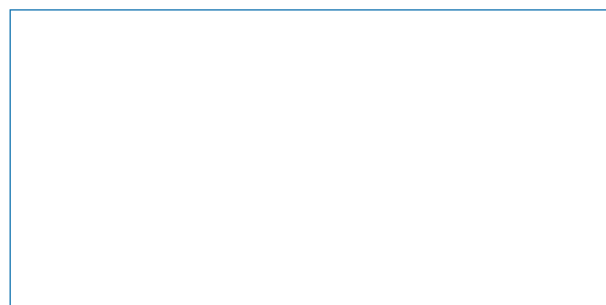
\*Datos validos para aplicaciones de gas natural, medidos como nivel de intensidad acústica.

## Beneficios

- Combinación de costes de inversión económicos y costes de explotación reducidos.
- El aprovechamiento máximo de la energía primaria garantiza un consumo de energía muy reducido.
- Los largos intervalos de mantenimiento y la facilidad de conservación y mantenimiento garantizan un mayor ahorro.
- Transformación eficiente de la energía con excelentes grados de eficacia.
- La refrigeración de la mezcla permite el máximo rendimiento incluso en gases con índices de metano muy reducidos.
- La fiabilidad de la regulación y la supervisión, con normas de seguridad muy exigentes, aseguran una combustión óptima y la máxima protección del motor.
- Todas las funciones de regulación, servicio, control y supervisión se pueden manejar de forma sencilla y cómoda.

## Características

- Motores modernos de 12, 16 y 20 cilindros en V.
- Turbosobrealimentación y refrigeración de la mezcla en dos etapas.
- Culatas individuales con tecnología de cuatro válvulas.
- Bujías dispuestas en el centro con refrigeración intensiva del asiento de las mismas.
- Instalación de encendido de alta tensión controlada por microprocesador.
- Una bobina de encendido por cada cilindro.
- Control y supervisión electrónicos del funcionamiento del grupo mediante TEM.
- Emisiones contaminantes reguladas mediante la temperatura en la cámara de combustión.



## ANEXO C: SIMULACIÓN ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN

---

## SIMULACIÓN DE LA INVERSIÓN

### Simulación sin Financiación

Total de la inversión	6.892.000,00	100%
A financiar con crédito	0,00	0%
Aportación de Capital Propio	6.892.000,00	100%
Deducción anual art. 35 Ley I.S.	137.840,00	2%
(2% Inversión sin ayudas deducir de la cuota íntegra en 10 años)		

### Datos del crédito

Interés	4,00%
Período de deducción	15
Tasa de descuento	2,25%

Ingresos anuales	1.847.458
Kwh/año	18.040.000
Precio (€/kWh):	0,1024

VAN	6.360.154
TIR del proyecto	15,4%
Período de Retorno	5,7 Años

### RESULTADOS

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
Total de ingresos operativos	0	1.847.458	1.889.026	1.931.529	1.974.989	2.019.426	2.064.863	2.111.322	2.158.827	2.207.401	2.257.067	2.307.851	2.359.778	2.412.873	2.467.163	2.522.674
Total Gastos	0	581.187	594.264	607.635	621.307	635.286	649.580	664.196	679.140	694.421	710.045	726.021	742.357	759.060	776.139	793.602
Margen operativo bruto	0	1.266.271	1.294.762	1.323.894	1.353.682	1.384.140	1.415.283	1.447.126	1.479.687	1.512.980	1.547.022	1.581.830	1.617.421	1.653.813	1.691.024	1.729.072
Amortización	0	861.500	861.500	861.500	861.500	861.500	861.500	861.500	861.500	0	0	0	0	0	0	0
Intereses+Comisiones	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Impuesto de Sociedades (menos deducción por art. 35 en 10 años)	0	78.930	34.640	138.718	147.655	156.792	166.135	175.688	185.456	453.894	464.107	474.549	485.226	496.144	507.307	518.722
Beneficio neto	0	325.841	398.623	323.676	344.527	365.848	387.648	409.938	432.731	1.059.086	1.082.916	1.107.281	1.132.195	1.157.669	1.183.717	1.210.350
Flujo de caja disponible para el servicio de la deuda	-6.892.000	1.187.341	1.260.123	1.185.176	1.206.027	1.227.348	1.249.148	1.271.438	1.294.231	1.059.086	1.082.916	1.107.281	1.132.195	1.157.669	1.183.717	1.210.350
Servicio a la deuda anual	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ratio de cobertura del servicio anual de la deuda	0,00 -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inversión Inicial	-6.892.000															
Flujo de caja		1.187.341	1.260.123	1.185.176	1.206.027	1.227.348	1.249.148	1.271.438	1.294.231	1.059.086	1.082.916	1.107.281	1.132.195	1.157.669	1.183.717	1.210.350



## **CAPÍTULO 8: ELEMENTOS CONSULTADOS**

---



## 8.1 ENLACES WEB

---

Todos los enlaces han sido verificados a fecha martes 12 de Octubre de 2010.

- Catálogo C.E.R

[http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/r49-4892/es/contenidos/informacion/residuos/es\\_991/adjuntos/cer.pdf](http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/r49-4892/es/contenidos/informacion/residuos/es_991/adjuntos/cer.pdf)

- Ayudas valorización de residuos en la comunidad valenciana

<http://www.asecorp-online.com/clientes/normas/ficheros/ord-6-11-2009-val-6147-2.pdf>

- RD 661/2007

<http://www.boe.es/boe/dias/2007/05/26/pdfs/A22846-22886.pdf>

- Asociación Española de Biogás

<http://www.aebig.org/>

- Energías renovables AE3000

<http://www.ae3000.com/>

- Ingeniería Wolf-System

<http://www.wolf-system.co.uk/>

- Ingeniería Krieg&Fischer

<http://www.kriegfischer.de/>

- Drace Medioambiente

<http://www.dracemedioambiente.com/>

- Ingeniería Biovec

<http://www.biovec.net/>

- Ministerio de Industria y Turismo

<http://www.mityc.es/energia/es-ES/Paginas/index.aspx>

- Ingeniería Ecobiogás

<http://www.ecobiogas.es/archivos/es/>

- Coordinadora de Organizaciones de Agricultores y Ganaderos (COAG)

<http://www.coag.org/>

- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)

<http://www.idae.es/index.php/mod.pags/mem.detalle/idpag.520/relicategoria.1021/reلمenu.169>

- MWM motores

<http://www.mwm.net/modules/home/>

## 8.2 BIBLIOGRAFÍA

---

- Moncayo Romero, Gabriel; 2009: "Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás", Aqualimpia Beratende Ingenieure, Buenos Aires.
- Isla de Juana, Ricardo; 2005: "Proyectos de plantas de tratamiento de aguas", Bellisco Ediciones, Madrid.
- Fernández Polanco, Francisco; 1988: "Depuración anaerobia de aguas residuales", Universidad de Valladolid, Valladolid.
- Seoáñez Calvo, Mariano; 2003: "Manual de tratamiento, reciclado, aprovechamiento y gestión de las aguas residuales de las industrias agroalimentarias", Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Campos Pozuelo, Antonia; 2001: "Optimización de la digestión anaerobia de purines de cerdo mediante codigestión con residuos orgánicos de la industria agroalimentaria", Universidad de Lérida, Lérida.
- Generalidad Valenciana, Consejería de Medio Ambiente; 2009: "Ordenanza reguladora de la Comunidad Valenciana de la actividad ganadera y del vertido y utilización de los residuos ganaderos y otro abonos orgánicos con fines agrícolas", Utiel.